

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



Trabajo de Suficiencia Profesional

Propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Mejorar la Disponibilidad de una Llenadora de Aceite de la Línea de Producción de Alimentos

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Carlos Alfonso Quiquia Huaman

 [0009-0006-5674-6241](https://orcid.org/0009-0006-5674-6241)

Asesor:

PhD. Danny Hernan Zambrano Carrera

 [0009-0004-5498-7741](https://orcid.org/0009-0004-5498-7741)

LIMA-PERÚ

2025

Bibliografía Orcid

Quiquia, C. (2025). Propuesta de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de una llenadora de aceite de la línea de producción de alimentos [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]

Dedicatoria

*A dios, por brindarme salud y sabiduría para vencer todos los
obstáculos a lo largo de mi vida.*

*A mis padres Sarita y Alfonso como a mis hermanos por su apoyo y motivación para
mi desarrollo profesional.*

Agradecimientos

A mis padres Sarita y Alfonso por su esfuerzo y apoyo incondicional durante todas las etapas de mi vida y han velado por mi bienestar y salud de una manera invaluable.

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	viii
Abstract	ix
Introducción	x
Capítulo I. Generalidades	1
1.1. Antecedentes de la Investigación	1
1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio	3
1.3. Formulación del Problema	4
1.3.1. Problema Principal.....	4
1.4. Justificación e Importancia.....	4
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.6. Hipótesis.....	5
1.6.1. Hipótesis general.....	5
1.7. Variables y Operacionalización de Variables	5
1.7.1. Operacionalización de Variables.....	5
1.8. Metodología de la Investigación.....	7
1.8.1. Unidad de análisis	7
1.8.2. Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación	7
1.8.3. Diseño de la Investigación	7
1.8.4. Fuentes de Información	8
1.8.5. Población y Muestra.	8
1.8.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	8
1.8.7. Análisis y Procesamiento de Datos.....	8
Capítulo II. Marco Teórico y Marco Conceptual.....	10
2.1. Fundamentos del Mantenimiento Industrial	10

2.2.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	11
2.3.	Análisis FMEA (Failure Modes and Effects Analysis).....	12
2.4.	Eficiencia Global de los Equipos (OEE)	14
2.5.	Confiabilidad Operacional.....	15
2.6.	Industria de Alimentos y Mantenimiento	17
2.7.	Aplicación del RCM en sistemas de llenado de aceite	18
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de Investigación		24
3.1.	Análisis de la disponibilidad y criticidad de la línea de envasado	24
3.1.1.	Estudio de OEE a nivel planta de aceite	24
3.1.2.	Evaluación comparativa entre líneas de producción	25
3.1.3.	Impacto económico por línea: utilidad bruta vs. Indisponibilidad	27
3.1.4.	Identificación de la línea crítica y selección de equipo de mayor impacto	29
3.2.	Diagnóstico técnico de la llenadora de aceite	32
3.2.1.	Descripción funcional del equipo	32
3.2.2.	Análisis histórico de OEE de la llenadora	35
3.2.3.	Justificación para el análisis técnico profundo	36
3.3.	Descomposición funcional por subsistemas.....	37
3.4.	Aplicación del análisis FMEA.....	39
3.5.	Propuesta técnica de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	41
3.6.	Evaluación del impacto esperado	42
Capítulo IV. Resultados ,Contrastacion de Hipotesis		44
4.1.	Resultados de la implementación del RCM	44
4.2.	Contrastación de la Hipótesis	47
4.3	Discusión de resultados	47
Conclusiones		49
Recomendaciones		51
Referencias		52

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Operacionalización de la presente investigación variable independiente y dependiente.</i>	6
<i>Tabla 2. OEE de la planta de aceite</i>	24
<i>Tabla 3. Principales categorías que afectan la disponibilidad</i>	25
<i>Tabla 4. Indisponibilidad por líneas (YD, Y2, YA)</i>	26
<i>Tabla 5. Utilidad de bruta en millones de soles por año</i>	27

Lista de Figuras

Figura 1. Sistema de dosificación de la llenadora Hema Quatro Access.....	20
Figura 2. Estrellas de transferencia de la llenadora Hema Quatro Access.	21
Figura 3. Taponadora rotativa del sistema de llenado Hema Quatro Access.	21
Figura 4. Sistema de transmisión del módulo rotativo Hema Quatro Access.	22
<i>Figura 5. Indisponibilidad de las líneas de aceite</i>	<i>26</i>
<i>Figura 6. Impacto de la indisponibilidad en el Negocio.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 7. Impacto de la indisponibilidad en el Negocio.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8. Equipos con mayor indisponibilidad (Y2) y regulaciones (YA) en horas para la Línea 8</i>	<i>30</i>
Figura 9. Top 3 de subsistemas con mayor incidencia de fallas y regulaciones en la llenadora en horas	31
Figura 10. Modos de falla más relevantes en los principales subsistemas de la llenadora en horas	31
Figura 11. Diagrama Entrada-Proceso-Salida de la llenadora de aceite Sidel	34
Figura 12. Horas del Parada de la Llenadora SIDEL por falla de equipo	45
Figura 13. Evolución de la indisponibilidad de la llenadora SIDEL por falla de equipo	45
Figura 14. Horas del Parada de la Llenadora SIDEL por regulación de equipo.....	46
Figura 15. Evolución de la indisponibilidad de la llenadora SIDEL por regulación de equipo.....	46

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo identificar las palancas de mejora que reduzcan el impacto de las fallas en el OEE de mantenimiento, analizando los registros de los avisos Y2 (falla de equipo), YC (mantenimiento prolongado), YD (mantenimiento programado) y YB (paradas imprevistas) disponibles en la base de datos SAP HANA. La información utilizada tiene un corte de 17 meses, iniciando en enero de 2023 y finalizando en mayo de 2024.

El método de análisis se realizará por subsistemas, teniendo un enfoque específico para la máquina llenadora de aceite utilizada en la industria de alimentos de consumo masivo, ya que es la máquina con el mayor impacto de indisponibilidad en tiempo de producción. Se usará este método en la estrategia de mejora continua bajo la técnica de RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), cuyo objetivo es mejorar la confiabilidad y eficiencia del equipo.

Finalmente, la implementación se concluirá con la elaboración de planes de acción con palancas disruptivas, planes de acción con mejoras en el mantenimiento preventivo y predictivo, rutas de inspección y frecuencias de mantenimiento, así como estrategias de paros planeados con la finalidad de alinear todas las áreas con las mejores prácticas en confiabilidad y eficiencia operativa.

Abstract

This research aims to identify improvement levers that reduce the impact of failures on maintenance OEE by analyzing records of Y2 (equipment failure), YC (extended maintenance), YD (scheduled maintenance), and YB (unscheduled downtime) notifications available in the SAP HANA database. The data used has a 17-month cutoff, starting in January 2023 and ending in May 2024.

The analysis method will be performed by subsystem, with a specific focus on the oil filling machine used in the consumer food industry, as it is the machine with the greatest impact of downtime on production time. This method will be used in the continuous improvement strategy under the RCM (Reliability-Centered Maintenance) technique, which aims to improve equipment reliability and efficiency.

Finally, the implementation will conclude with the development of action plans with disruptive levers, action plans with improvements in preventive and predictive maintenance, inspection routes and maintenance frequencies, as well as planned shutdown strategies, with the goal of aligning all areas with best practices in reliability and operational efficiency.

Introducción

El objetivo principal de esta investigación es mejorar el OEE de una línea de producción de alimentos de consumo masivo a través de la implementación de la metodología RCM para identificar las causas raíz de falla y optimizar estrategias de mantenimiento. La investigación busca abordar eficazmente las causas de las detenciones imprevistas e incrementar la disponibilidad general establecido en un 1.5% y aumentar el OEE general en un 0.7%. El desarrollo de la investigación se compone de un total de cuatro capítulos, los cuales corresponden a lo siguiente:

Capítulo 1: Generalidades de la investigación, donde se introduce al lector a la investigación y cubre la descripción del problema, los objetivos y la revisión de los estudios previamente realizados en relación con el tema.

Capítulo 2: Se presentan los conceptos básicos de confiabilidad, estrategias de mejora continua y otros aspectos críticos como la medición y cálculos del OEE.

Capítulo 3: Se pone en manifiesto el desarrollo del trabajo de investigación, que a su vez incluye el procesamiento de toda la información recolectada, en particular los reportes de fallas y las problemáticas latentes en el equipo y subsistemas. En función de todo lo expuesto se detallan las alternativas posibles destinadas a contrarrestar los efectos no deseados, por ende, garantizar una mayor confiabilidad del equipo, así como también en la línea de producción.

Capítulo 4: Se expondrá análisis y discusión de la investigación diseñados en el capítulo anterior. También se detallará las conclusiones y recomendaciones, así como la bibliografía y los anexos de la investigación.

Capítulo I. Generalidades

1.1. Antecedentes de la Investigación

Ramos y Castro (2020)¹, se aplicó la metodología RCM en una planta de producción de bebidas carbonatadas. El estudio incluyó un FMEA detallado de los principales equipos de llenado y taponado, y permitió priorizar las fallas de mayor impacto con base en su RPN (Risk Priority Number). A partir de este análisis, se rediseñaron los planes de mantenimiento, integrando actividades predictivas y una mejora sustancial en la programación de paros. Como resultado, se reportó una reducción del 15% en las fallas reincidentes y una mejora del 1.3% en la disponibilidad técnica de los equipos analizados.

Gonzales (2021)², desarrolló una investigación aplicada a una planta del rubro oleaginoso, enfocándose en la evaluación y rediseño del mantenimiento preventivo de una llenadora rotativa. Utilizando registros históricos del sistema SAP-PM y el cálculo del OEE como diagnóstico base, se detectaron cuellos de botella y puntos de intervención críticos en los subsistemas de dosificación y taponado. La implementación de mejoras en la frecuencia y tipo de intervención permitió aumentar la confiabilidad del equipo, con una mejora documentada del 0.8% en el OEE y una disminución significativa en los tiempos de parada por fallas.

Espinosa y Zurita (2021)³, en la planta de conservas de atún de la empresa EUROFISH en Manta, Ecuador, se implementó el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en los equipos más críticos de la línea de producción. El análisis incluyó un Análisis de Criticidad y un FMEA para identificar y priorizar modos de falla. En base a lo anterior, se elaboró un plan de mantenimiento que conjugaba tareas preventivas, predictivas y correctivas, que no sólo consideraron temas de lubricación, sino que además

¹ Ramos, E., & Castro, J. (2020). Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad en una línea de bebidas. *Ingeniería y Gestión*, 22(3), 88–97.

² Gonzales, D. (2021). Optimización del mantenimiento preventivo en llenadoras rotativas mediante análisis OEE y SAP-PM. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

³ Espinosa, L., & Zurita, P. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos en industria de conservas de atún. *Científica*, 25(2), 1–24.

incluyeron inspección sistemática y control de estado de los elementos. Estas tareas mostraron un incremento de la disponibilidad de los equipos de un 87%, medido a través del MTBF, lo que se tradujo en un aumento significativo de la confiabilidad operacional de la planta.

Cruz y Mendoza (2022)⁴, propusieron el uso del análisis FMEA como herramienta principal para evaluar los modos de falla en una línea de envasado de productos alimenticios. El estudio reveló que más del 70% de las fallas estaban concentradas en tres subsistemas, y que una gran parte de las tareas de mantenimiento eran ejecutadas de forma reactiva. Tras la implementación de acciones correctivas alineadas al RCM, se logró reducir en un 20% el tiempo medio entre fallas (MTBF), evidenciando el valor estratégico de priorizar fallos según criticidad y consecuencias operativas⁴.

Villanueva y López (2023)⁵, realizaron un estudio en una planta de productos lácteos, aplicando RCM en equipos de envasado con integración directa al sistema SAP. Su enfoque se basó en combinar datos cuantitativos del OEE con la evaluación cualitativa del FMEA para justificar económicamente cada tarea de mantenimiento. La metodología empleada no solo incrementó la disponibilidad en un 1.6%, sino que también facilitó la creación de una cultura de confiabilidad basada en datos, lo que resultó clave para la toma de decisiones.

Quispe y Huamán (2024)⁶, llevaron a cabo una investigación en una planta embotelladora, donde analizaron el OEE como herramienta diagnóstica para justificar la intervención técnica de la maquinaria más crítica. Se enfocaron en la reducción de paradas imprevistas a través de tareas predictivas aplicadas a los sistemas de llenado y taponado. La validación del impacto de las mejoras fue sustentada por una mejora del OEE de 0.9% y una reducción del 18% en las horas de parada.

⁴ Cruz, M., & Mendoza, L. (2022). Aplicación del FMEA para mejorar la confiabilidad en líneas de envasado de alimentos. *Revista de Ingeniería Industrial Aplicada*, 18(1), 45–53.

⁵ Villanueva, S., & López, F. (2023). RCM aplicado a equipos críticos en la industria láctea usando SAP y FMEA. *Revista de Tecnología Aplicada*, 29(4), 101–110.

⁶ Quispe, R., & Huamán, J. (2024). Análisis del OEE y propuesta de mantenimiento predictivo en una planta embotelladora. **Revista de Producción y Tecnología*, 25(2), 33–41.

1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio

En la industria de alimentos de consumo masivo, la eficiencia operativa de las líneas de producción es esencial para mantenerse competitivos y rentables. Uno de los procesos más críticos es, sin duda, una línea de envasado de aceite. Cualquier interrupción en el trabajo o fallo de este sistema se traduce en la pérdida significativa de tiempo de producción y calidad del producto final.

El problema clave abordado por esta investigación es la alta indisponibilidad de la llenadora de aceite, lo que resulta en un bajo OEE (Eficacia General del Equipo) para la planta de aceites. Los tiempos de inactividad, imprevistos y las fallas recurrentes de los equipos, deterioran la disponibilidad y el rendimiento. En conjunto estos factores contribuyen a un OEE (Eficacia General del Equipo) bajo.

Específicamente, la indisponibilidad de la llenadora de la línea 8 es la que ha tenido el mayor impacto en el OEE, en cuanto a la cantidad de paradas inesperadas, mantenimientos prolongados y problemas recurrentes con el equipo, el cual provoca un círculo vicioso de ineficiencia que aumentan los costos del proceso y reducen la productividad de la línea de envasado además del impacto financiero para la planta. Esto representa no poder satisfacer las necesidades del mercado y la calidad del producto, ya que es un factor crucial en la industria de alimentos de consumo en gran escala. Además, la falta de un enfoque estructurado para el mantenimiento y la gestión de los equipos, particularmente con respecto al mantenimiento preventivo y predictivo.

El análisis de los avisos que se encuentran en la base de datos SAP va a ser un punto fundamental, dado que proporciona información relevante sobre la frecuencia con que se realiza el mantenimiento en términos de mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y regulaciones de los equipos. Este análisis será un paso fundamental para la aplicación de la metodología de RCM (Maintenance Centered Reliability) con el objetivo de identificar cuáles son las causas subyacentes de las fallas y emplear esta información para

mejorar las estrategias de mantenimiento obteniendo un impacto positivo en la indisponibilidad, así como en el OEE.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema Principal

¿De qué manera se mejora la disponibilidad de una llenadora de aceite del rubro de alimentos de consumo masivo?

1.4. Justificación e Importancia

La implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la llenadora de aceite se justifica por su capacidad para generar un impacto directo en la mejora del desempeño operativo de la línea de producción, especialmente a través de la optimización del indicador OEE (Eficiencia Global de los Equipos). El OEE es un indicador clave que mide la eficiencia global de los equipos en función de su disponibilidad, rendimiento y calidad, y su mejora es esencial para incrementar la competitividad de la planta.

Dentro del proceso de envasado, la llenadora de aceite es un equipo crítico cuyo funcionamiento continuo y sin fallos es vital para mantener el flujo productivo y evitar interrupciones no planificadas. La aplicación de RCM permite identificar de manera sistemática los modos de fallo más relevantes, analizando sus causas, consecuencias y frecuencia. Con esta información, se pueden establecer estrategias de mantenimiento efectivas que reduzcan las paradas no programadas (mejorando la disponibilidad), minimicen las pérdidas ocasionadas por micro paradas o reducción de velocidad (mejorando el rendimiento), y aseguren un correcto funcionamiento del equipo para evitar defectos en el producto final (mejorando la calidad).

Al aplicar RCM, no solo se mejora la confiabilidad del activo, sino también la eficiencia global del proceso, lo que se traduce en una mejora continua del OEE. Esta

metodología también permite una asignación más racional de los recursos de mantenimiento, priorizando intervenciones según el impacto potencial en la operación y promoviendo una cultura de mejora continua dentro de la organización.

En resumen, la implementación de RCM en la llenadora de aceite no solo incrementa la vida útil del equipo y reduce los costos asociados a fallas inesperadas, sino que también contribuye de manera significativa a los objetivos estratégicos de productividad y eficiencia de la planta, posicionando el OEE como un indicador clave en el proceso de mejora continua.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Proponer el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad de una llenadora de aceite del rubro de alimentos de consumo masivo.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) mejora la disponibilidad de una llenadora de aceite del rubro de alimentos de consumo masivo.

1.7. Variables y Operacionalización de Variables

1.7.1. Operacionalización de Variables

Variable Independiente (VI): Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Variable Dependiente (VD): Eficiencia Global de los Equipos (OEE) / Disponibilidad de la llenadora de aceite

Tabla 1. Operacionalización de la presente investigación variable independiente y dependiente.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
RCM (Independiente)	Proceso en el que identifican los activos físicos para crear una estrategia integral de mantenimiento para mantener operativos a nivel óptimo. Su objetivo final es maximizar la disponibilidad del equipo y reducir las necesidades de reemplazo.	Proceso sistemático aplicado a una llenadora de aceite, con el fin de identificar las fallas potenciales y las acciones de mantenimiento optimo que garantice su disponibilidad.	-Análisis de criticidad. -Análisis de modos y efectos de falla. -Formulación de la estrategia y la solución. -Monitoreo, seguimiento y control.	-Índice de criticidad. -Cobertura del AMFE. -Número de tareas de mantenimiento planificado. -Recolección de datos.	Riesgo A, B y C. Numero de fallas y efectos. % de avance del plan de mantenimiento.
Disponibilidad de la Llenadora (Dependiente)	Capacidad de la llenadora de estar en condiciones de operar cuando es requerido.	Proporción del tiempo en que la llenadora está en condiciones de operar sin fallas.	Tiempo de operación. Tiempo de parada por mantenimiento.	% de disponibilidad	Número de horas

Nota. En la tabla 1 se muestra la operacionalización de la presente investigación bajo la metodología RCM

1.8. Metodología de la Investigación

1.8.1. Unidad de análisis

La unidad de análisis principal es la llenadora de aceite de una línea de producción de alimentos de consumo masivo. Debido a su alta incidencia en la indisponibilidad del proceso productivo, esta máquina es el foco central de la investigación.

Para un análisis más detallado bajo la metodología RCM, la llenadora ha sido descompuesta en los siguientes cuatro subsistemas, cada uno con una función específica dentro del proceso de envasado: Estrellas de transferencia, sistema de dosificación y llenado, taponadora y por último el sistema de transmisión.

1.8.2. Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación

Tipo de investigación: Aplicada, ya que busca solucionar un problema práctico relacionado con la baja disponibilidad de la llenadora mediante la propuesta de mantenimiento basado en el RCM.

Enfoque de investigación: Cuantitativo, debido a que se basa en el análisis de datos históricos de fallas y rendimiento (OEE), con indicadores medibles antes y después de la intervención.

Nivel de investigación: Descriptivo-explicativo, ya que describe la situación actual del equipo y explica las causas de la indisponibilidad, proponiendo acciones correctivas basadas en análisis técnico.

1.8.3. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es no experimental, longitudinal y de tipo preexperimental. Se basa en la observación y análisis de registros históricos de fallas y rendimiento del equipo, sin manipular directamente las variables. Se realiza una

comparación de los indicadores antes y después de la implementación de la propuesta RCM.

1.8.4. Fuentes de Información

Primarias: Reportes de fallas extraídos del sistema SAP HANA (avisos Y2, YB, YC, YD), FMEA de la llenadora, registros de mantenimiento, entrevistas a técnicos y supervisores.

Secundarias: Literatura técnica sobre mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), libros, artículos científicos, manuales del fabricante de la llenadora y documentos normativos.

1.8.5. Población y Muestra.

Población: Está compuesta por todos los equipos de la línea de producción de envasado de aceite.

Muestra: Se selecciona la llenadora de aceite como muestra específica por su alta criticidad en la línea. La unidad de análisis se desagrega en 4 subsistemas: Estrellas de Transferencia, Sistema de Dosificación y Llenado, Taponadora y Sistema de Transmisión.

1.8.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Técnicas: Observación directa, revisión documental y análisis histórico de datos.

Instrumentos: Hojas de inspección, base de datos SAP, formatos de FMEA, registros de OEE, entrevistas estructuradas y checklist de mantenimiento.

1.8.7. Análisis y Procesamiento de Datos.

Los datos serán analizados utilizando herramientas estadísticas descriptivas y gráficas comparativas. Se calcularán los valores de OEE antes y después de aplicar la metodología RCM. Se aplicará también el análisis de criticidad a través del FMEA,

priorizando las acciones correctivas. Finalmente, se validará la mejora en términos de disponibilidad y eficiencia mediante indicadores clave de desempeño.

Capítulo II. Marco Teórico y Marco Conceptual

2.1. Fundamentos del Mantenimiento Industrial

El mantenimiento industrial es un conjunto de actividades técnicas y administrativas orientadas a conservar o restaurar un activo a un estado en el que pueda cumplir su función requerida (Mobley, 2002). Su propósito es garantizar la disponibilidad, confiabilidad y funcionalidad de los equipos, minimizando fallas, tiempos muertos y pérdidas en la producción.

Las principales estrategias de mantenimiento aplicadas en entornos industriales son:

- **Mantenimiento Correctivo:**

Se ejecuta después de que ocurre una falla. Aunque puede ser una solución viable para equipos no críticos, su uso excesivo incrementa el tiempo de inactividad, afecta la producción y eleva los costos operativos (Álvarez, 2013).

- **Mantenimiento Preventivo**

Consiste en realizar intervenciones periódicas planificadas (revisión, sustitución de piezas, lubricación) según el tiempo o el uso del equipo, independientemente de su estado actual. Si bien ayuda a reducir fallas imprevistas, puede resultar ineficiente si no se ajusta a las condiciones reales (Pérez & Rodríguez, 2017).

- **Mantenimiento Predictivo**

Este enfoque utiliza técnicas de monitoreo como análisis de vibraciones, ultrasonido o termografía para predecir el fallo antes de que ocurra. Permite programar acciones solo cuando son necesarias, optimizando costos y mejorando la disponibilidad (Smith & Hawkins, 2004).

- **Mantenimiento Proactivo:**

Busca eliminar las causas raíz de las fallas recurrentes mediante un análisis profundo de datos, condiciones de operación y diseño de los equipos. Se enfoca en la mejora continua y la fiabilidad del sistema (Campbell & Reyes-Picknell, 2006).

La evolución de estos enfoques ha dado origen a estrategias más integradas como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), que busca determinar la política de mantenimiento más apropiada para cada componente, considerando su función, modo de falla y consecuencias.

En industrias como la alimentaria, donde los estándares de calidad, seguridad e inocuidad son muy exigentes, el mantenimiento adquiere un rol estratégico. Una gestión eficiente del mantenimiento influye directamente en la productividad, la calidad del producto final y la competitividad de la empresa (García, 2018).

2.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una metodología estructurada que tiene como objetivo determinar las políticas de mantenimiento más efectivas para garantizar que un sistema continúe cumpliendo sus funciones en el contexto operativo actual (Moubray, 1997). Esta estrategia se basa en la premisa de que no todas las fallas son iguales ni deben tratarse de la misma forma, y por ello propone una priorización basada en la función, criticidad y consecuencias de las fallas.

El RCM surgió en la industria aeronáutica en la década de 1960, específicamente con la aviación comercial estadounidense, como respuesta a la necesidad de mejorar la seguridad y reducir costos sin comprometer la confiabilidad. Posteriormente, su aplicación se extendió a otros sectores industriales como el energético, minero, petroquímico y manufacturero (Márquez, 2007).

1. Principios clave del RCM

- Preservar la función del sistema, más allá del simple cuidado de componentes individuales.
- Identificar las fallas funcionales más críticas.
- Determinar las consecuencias de dichas fallas (en seguridad, operación, medio ambiente o costos).

- Aplicar tareas de mantenimiento específicas (predictivas, preventivas o rediseño) según la criticidad y modo de falla.

2. Etapas del RCM

El proceso clásico de RCM sigue las siguientes etapas (Moubray, 1997; Smith & Hinchcliffe, 2004):

- Selección del equipo o sistema crítico.
- Análisis funcional, donde se definen las funciones y los estándares de desempeño esperados del equipo.
- Identificación de fallas funcionales, que representan la incapacidad del equipo para cumplir su función.
- Determinación de modos de falla mediante FMEA.
- Análisis de consecuencias de cada falla.
- Selección de tareas de mantenimiento efectivas.
- Revisión y validación técnica y económica de las tareas propuestas.

El RCM no busca aplicar un único tipo de mantenimiento, sino seleccionar el más adecuado para cada caso, maximizando la confiabilidad y eficiencia operativa del sistema. Esta metodología también impulsa la participación del personal de mantenimiento, operaciones e ingeniería, fomentando una cultura de mejora continua (Mobley, 2002). Su implementación ha demostrado beneficios como la reducción de costos por fallas, incremento en la disponibilidad de equipos y optimización del uso de recursos técnicos y humanos (García, 2018).

2.3. Análisis FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA, por sus siglas en inglés) es una herramienta sistemática utilizada para identificar, evaluar y priorizar posibles fallas en un proceso, sistema o equipo, con el objetivo de reducir riesgos y mejorar la confiabilidad operativa (Stamatis, 2003). Esta técnica es una de las más empleadas dentro del enfoque

del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), ya que permite analizar las causas y consecuencias de las fallas antes de que ocurran, facilitando una toma de decisiones preventiva.

- **Objetivo del FMEA**

El FMEA tiene como finalidad anticipar las fallas potenciales, determinar sus efectos sobre el sistema y establecer acciones correctivas o de control que mitiguen su impacto. Al aplicarse en los subsistemas de una máquina, como en el caso de una llenadora de aceite, el análisis permite focalizar los esfuerzos de mantenimiento en los puntos más críticos del proceso.

- **Componentes del FMEA**

El procedimiento FMEA evalúa tres factores fundamentales para cada modo de falla identificado:

- **Severidad (S):** Nivel de impacto que tendría la falla sobre la operación o la seguridad.
- **Ocurrencia (O):** Frecuencia estimada con la que puede ocurrir la falla.
- **Detección (D):** Probabilidad de que la falla sea detectada antes de causar un efecto negativo.

La multiplicación de estos tres valores genera el Número de Prioridad de Riesgo (RPN):

$$RPN=S \times O \times D \text{ } \text{\textit{RPN}} = S \times O \times D$$

Este valor sirve como criterio para priorizar las fallas que requieren atención inmediata.

- **Aplicación del FMEA en mantenimiento industrial**

En el contexto del mantenimiento, el FMEA se utiliza para:

- Identificar modos de falla de componentes y sistemas.
- Determinar el impacto de las fallas en el desempeño global (por ejemplo, en el OEE).
- Priorizar tareas de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo.

- Reducir la ocurrencia de paros no programados y aumentar la disponibilidad del equipo (Rausand, 2005).

En esta investigación, el FMEA se aplicó a los cuatro subsistemas de la llenadora de aceite: Estrellas de Transferencia, Sistema de Dosificación y Llenado, Taponadora y Sistema de Transmisión. Este enfoque permitió analizar individualmente las funciones críticas, las fallas más comunes y las acciones necesarias para mejorar la confiabilidad.

2.4. Eficiencia Global de los Equipos (OEE)

La Eficiencia Global de los Equipos (OEE, por sus siglas en inglés Overall Equipment Effectiveness) es un indicador clave de desempeño utilizado para medir la efectividad real de los equipos en procesos productivos. Fue desarrollado por Seiichi Nakajima en el marco del mantenimiento productivo total (TPM) y se ha convertido en un estándar mundial para evaluar el desempeño de máquinas y líneas de producción (Nakajima, 1988).

El OEE permite identificar y cuantificar las pérdidas más importantes asociadas al uso de los activos físicos, proporcionando una visión integral de su rendimiento real. Se calcula multiplicando tres componentes fundamentales: disponibilidad, rendimiento y calidad.

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

Componentes del OEE

Disponibilidad: Mide el tiempo real de operación respecto al tiempo planificado. Se ve afectada por fallas imprevistas y paros no programados.

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ de\ operación\ real}{Tiempo\ planificado}$$

Rendimiento: Evalúa la velocidad efectiva de producción en comparación con la velocidad teórica o estándar del equipo. Se reduce por micro paradas o por producción a velocidad inferior a la nominal.

$$Rendimiento = \frac{Producción\ real}{Producción\ teórica}$$

Calidad: Mide la proporción de productos buenos frente al total producido. Se reduce por unidades defectuosas, reprocesos o retrabajos.

$$Calidad = \frac{Unidades\ buenas}{Total\ de\ unidades\ producidas}$$

Importancia del OEE en la gestión del mantenimiento

El OEE no solo refleja el estado de los equipos, sino que también es una herramienta para la toma de decisiones estratégicas en mantenimiento, producción y mejora continua. Una disminución en cualquiera de sus componentes puede indicar deficiencias técnicas, operativas o de planificación (Moubray, 1997).

En el contexto de esta investigación, el OEE sirve como principal indicador para evaluar el impacto de la propuesta de mantenimiento basada en RCM. A través del análisis histórico y posterior a la intervención, se podrá verificar si la confiabilidad del equipo ha mejorado y si se ha reducido la indisponibilidad.

2.5. Confiabilidad Operacional

La confiabilidad es una propiedad fundamental de los sistemas técnicos e industriales. Se define como la probabilidad de que un equipo o sistema funcione sin fallas durante un periodo determinado y bajo condiciones específicas (ISO 14224, 2016). En el contexto de la gestión de activos físicos, la confiabilidad operacional es un indicador clave que permite evaluar el desempeño de los equipos, anticipar fallas y planificar acciones de mantenimiento adecuadas.

La confiabilidad está estrechamente relacionada con los conceptos de disponibilidad, mantenibilidad y soporte logístico. Su correcta gestión permite minimizar interrupciones en la producción, optimizar recursos y asegurar el cumplimiento de metas operativas.

Indicadores de confiabilidad

Entre los indicadores más utilizados para evaluar la confiabilidad de un equipo se encuentran:

- **MTBF (Mean Time Between Failures / Tiempo Medio Entre Fallas):** Es el tiempo promedio que transcurre entre dos fallas sucesivas de un equipo. Un valor alto de MTBF indica que el sistema es confiable.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número de fallas}}$$

- **MTTR (Mean Time To Repair / Tiempo Medio de Reparación):** Representa el tiempo promedio necesario para restaurar un equipo a su estado operativo después de una falla.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}}$$

- **Tasa de fallas (λ):** Es la frecuencia con la que ocurren fallas en un sistema durante un período específico.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Estos indicadores permiten tomar decisiones basadas en datos, priorizar acciones correctivas, y definir estrategias de mantenimiento más efectivas, como el mantenimiento predictivo o el rediseño de componentes críticos (Blanchard, 2004).

Importancia de la confiabilidad en la industria

En sectores altamente regulados como el alimentario, la confiabilidad no solo está relacionada con la eficiencia, sino también con la calidad del producto, la seguridad del personal y la satisfacción del cliente final. La implementación de sistemas de confiabilidad contribuye a reducir los riesgos operacionales, mejorar los niveles de servicio y mantener la continuidad productiva (García, 2018).

En esta investigación, la confiabilidad operacional de la llenadora se evalúa a través del análisis de fallas por subsistemas, mediante la aplicación del FMEA y el cálculo de indicadores antes y después de la propuesta RCM.

2.6. Industria de Alimentos y Mantenimiento

La industria de alimentos de consumo masivo se caracteriza por operar bajo altos volúmenes de producción, estrictas normativas sanitarias y una fuerte presión por garantizar la continuidad operativa y la inocuidad del producto final. En este contexto, el mantenimiento industrial adquiere un rol estratégico para asegurar la eficiencia de los procesos y el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos por organismos regulatorios y por el mercado (Cortés & Villanueva, 2015).

Particularidades del mantenimiento en la industria alimentaria

- **Alta sensibilidad a fallas:** Una detención inesperada en una línea de producción puede generar pérdidas significativas, tanto en materia prima como en producto final, debido a la naturaleza perecedera de muchos alimentos.
- **Normativas y certificaciones:** La industria está regulada por estándares como BPM (Buenas Prácticas de Manufactura), HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control), ISO 22000 e IFS. Estas normas exigen una infraestructura en condiciones higiénico-sanitarias óptimas, donde el mantenimiento preventivo y correctivo debe documentarse y ejecutarse de forma controlada (FAO, 2016).
- **Impacto en la seguridad alimentaria:** Las fallas técnicas pueden derivar en contaminación cruzada, mezclas indeseadas, fugas, o alteraciones del envase, lo que pone en riesgo la inocuidad del alimento. Por ello, el mantenimiento debe ser parte integral del sistema de calidad.
- **Disponibilidad y eficiencia:** La eficiencia productiva en este sector está directamente relacionada con el **OEE**, por lo que cualquier intervención de mantenimiento debe ser planificada y ejecutada sin comprometer el flujo continuo de producción (García, 2018).

Mantenimiento como ventaja competitiva

Una adecuada estrategia de mantenimiento, basada en técnicas como el RCM, permite mejorar la confiabilidad de los equipos, reducir paros no programados, y asegurar que las líneas de producción operen dentro de los parámetros establecidos. Esto se traduce en un mayor control de calidad, menor desperdicio, y mayor cumplimiento con la demanda del mercado (Smith & Hawkins, 2004).

En este estudio, la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la llenadora de aceite busca precisamente garantizar estos objetivos en una línea crítica dentro de una planta de alimentos de consumo masivo.

2.7. Aplicación del RCM en sistemas de llenado de aceite

El sistema de llenado de aceite es un conjunto de módulos mecatrónicos que integran tecnología neumática, electrónica y mecánica con el objetivo de dosificar un volumen exacto de aceite comestible en envases previamente formados. Este sistema constituye una de las etapas más críticas en la cadena de envasado de la industria alimentaria, ya que cualquier desajuste puede comprometer la calidad del producto final, generar mermas, provocar paradas de línea o incidir negativamente en los indicadores de eficiencia productiva.

Según Gonzales (2021), los sistemas de llenado deben responder a cuatro criterios fundamentales: exactitud volumétrica, higiene (libre de contaminación cruzada), velocidad de operación y repetitividad. Estas condiciones resultan esenciales en entornos de producción masiva, como el envasado de aceites, donde la variabilidad en el llenado o el contacto con residuos puede ocasionar lotes fuera de especificación o detenciones por mantenimiento correctivo.⁷

Existen distintos tipos de sistemas de llenado clasificados según su principio de funcionamiento: por gravedad, por caudal, por peso o por desplazamiento volumétrico. En

⁷ Gonzales, D. (2021). Optimización del mantenimiento preventivo en llenadoras rotativas mediante análisis OEE y SAP-PM [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería].

el presente estudio, el equipo analizado corresponde al modelo Hema Quatro Access, configuración Combi (versión WE 44/22 K - Serie 32), una máquina rotativa de alta precisión utilizada para procesos de envasado de aceite. Esta máquina integra las funciones de llenado y taponado en una sola unidad compacta y sincronizada, optimizando el espacio de planta, la eficiencia energética y el rendimiento operacional.

El principio de funcionamiento de esta llenadora se basa en el llenado ponderal mediante control electrónico, lo que garantiza una alta exactitud en el volumen dispensado. El sistema está diseñado para manejar productos como aceites comestibles bajo condiciones de limpieza estrictas, incorporando un sistema CIP (Cleaning In Place) que facilita su saneamiento automático. Su capacidad de producción alcanza hasta 25,000 botellas por hora, lo cual la convierte en un equipo clave dentro de una línea de envasado de alta velocidad. Según la documentación técnica del fabricante (Hema, 2020), cuenta además con múltiples estaciones de intervención, sensores de seguridad y funciones automatizadas que permiten ajustes finos durante la operación.⁸

Desde una perspectiva funcional, este sistema transforma como entradas los envases vacíos, el aceite crudo desde los tanques pulmón, las tapas y la energía neumática/eléctrica, en productos terminados (botellas de 900 ml de aceite con tapa), a través de un conjunto de operaciones de transferencia, dosificación y tapado. Los controles de proceso se gestionan mediante un HMI centralizado que permite la supervisión de parámetros como volumen, presión, tiempos de ciclo y alarmas, lo cual permite tener trazabilidad del rendimiento del sistema. Esta lógica de entrada-proceso-salida justifica el análisis detallado por subsistemas y modos de falla. Información técnica adicional puede consultarse directamente desde la web del fabricante (Synerlink, 2024).⁹

Componentes y subsistemas del sistema de llenado

⁸ Hema S.A.S. (2020). Manual de operación: Modelo Quatro Access WE 44/22 K S32. Francia: Hema Pneumatic Scale Angelus.

⁹ Synerlink. (2024). Hema Access Rotary Filler. Recuperado de <https://www.synerlink.com/es/maquina/hema-llenadoras-rotativas/hema-acces-rotary-filler>.

El sistema está conformado por subsistemas que trabajan de forma sincronizada. Cada uno cumple funciones específicas dentro del proceso, y su integridad determina la continuidad de la producción.

a) Sistema de dosificación y llenado: Incluye válvulas dosificadoras, boquillas de llenado, actuadores neumáticos, sensores de caudal y presión, y un colector que regula la alimentación del fluido. Es el encargado de controlar el volumen de aceite dispensado en cada ciclo.

Figura 1. Sistema de dosificación de la llenadora Hema Quatro Access.



Nota. Se visualiza el proceso de dosificación en la torreta que compone de 44 puntos que este compuesto internamente por dos tipos de dosificación que son la gruesa y la fina, ambas acciones por juego de electroválvulas en la parte interna programados según receta. Fuente: Fotografía propia del autor (2024).

b) Estrellas de transferencia: Estructuras rotativas con guías que permiten el paso preciso de botellas vacías hacia la torreta de llenado. Mantienen la posición y orientación de los envases para evitar errores o atascos.

Figura 2. Estrellas de transferencia de la llenadora Hema Quatro Access.



Nota. Se visualizan los discos de transferencia sincronizados que permiten el desplazamiento de las botellas entre las estaciones de dosificación y taponado, asegurando su correcta orientación y continuidad operativa.

Fuente: Fotografía propia del autor (2024).

c) Taponadora: Sistema mecánico encargado de colocar y fijar la tapa sobre la botella. Incluye cabezales de torque ajustable, alimentador de tapas, sensores de presencia y mecanismos de ajuste vertical.

Figura 3. Taponadora rotativa del sistema de llenado Hema Quatro Access.



Nota. Se aprecia el módulo de cerrado compuesto por cabezales de torque controlado y sistema de guiado de botellas. Esta unidad forma parte del conjunto Combi que opera a 25,000 botellas/hora en la línea de aceite.

Fuente: Fotografía propia del autor (2024).

d) Sistema de transmisión: Compuesto por motorreductores, ejes de transmisión, poleas, correas, acoplamientos y componentes de sincronización mecánica. Garantiza el movimiento coordinado de los módulos anteriores.

Figura 4. Sistema de transmisión del módulo rotativo Hema Quatro Access.



Nota. Se observa el conjunto de engranajes principales, motorreductores y ejes de transmisión que permiten la sincronización de los subsistemas de dosificación, taponado y transferencia. Fuente: Fotografía propia del autor (2024).

Modos de falla típicos y su impacto en la operación

Cada uno de estos subsistemas presenta modos de falla recurrentes que afectan la calidad del producto y la disponibilidad de la línea. Entre los más comunes se encuentran:

- Fugas en válvulas dosificadoras por desgaste de sellos
- Goteo constante en boquillas por residuos o desalineación
- Atascos o rotura de botellas en estrellas de transferencia
- Parámetros de torque fuera de especificación en la taponadora
- Fallas por vibraciones, desalineaciones o sobrecarga en el sistema de transmisión

El impacto de estas fallas se traduce en rechazos de producto, reprocesos, tiempo improductivo y costos elevados de intervención correctiva.

Importancia del sistema dentro del OEE

El sistema de llenado tiene un efecto directo sobre los tres componentes del indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness):

- Disponibilidad: debido a que su falla suele requerir la detención de la línea completa.
- Rendimiento: ya que afecta la velocidad efectiva de producción si hay ajustes continuos.
- Calidad: al estar directamente vinculado con el volumen y el cerrado adecuado del envase.

En estudios previos, como el de Villanueva y López (2023), se reporta que las fallas en equipos de llenado pueden representar hasta el 35% del tiempo total de indisponibilidad en plantas embotelladoras.¹⁰

Aplicación de la metodología RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es especialmente relevante en este sistema, ya que permite identificar los fallos con mayor impacto y establecer estrategias diferenciadas de mantenimiento. A través del análisis FMEA, se priorizan las fallas por su severidad, frecuencia y detectabilidad, facilitando la asignación de tareas predictivas (como análisis de vibraciones), preventivas (como reemplazo periódico de sellos) y rediseños (como mejoras en el alimentador de tapas).

Su aplicación permite:

- Reducir el RPN de los modos de falla más críticos
- Incrementar el MTBF y reducir el MTTR
- Elevar la disponibilidad operativa y mejorar el OEE

La estrategia RCM se convierte así en un componente clave para garantizar la eficiencia, sostenibilidad y confiabilidad del sistema de llenado en entornos industriales altamente competitivos.

¹⁰ Villanueva, C., & López, M. (2023). *Análisis de fallas críticas en líneas de envasado de líquidos mediante metodología RCM y FMEA*. Revista Peruana de Ingeniería y Mantenimiento, 18(2), 55–67.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de Investigación

3.1. Análisis de la disponibilidad y criticidad de la línea de envasado

3.1.1. Estudio de OEE a nivel planta de aceite

Con el objetivo de establecer una línea base para la evaluación de la eficiencia operativa, se realizó un análisis global del desempeño de la planta de aceite mediante el indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness). El OEE se calculó en base a los registros del sistema SAP HANA partiendo del tiempo calendario total, que fue de 76,608 horas para el conjunto de las siete líneas de producción, según la siguiente tabla:

Tabla 2. OEE de la planta de aceite

Dimensión	Horas	Puntos OEE
Tiempo calendario	76608	348.0%
Parada por falta de demanda	53960	245.1%
Refrigerio sin programa de producción	637	2.9%
Tiempo disponible	22011	100.0%
Paradas Programadas (YD)	558	2.5%
Mantenimiento Programado	528	2.4%
Otros	30	0.1%
Paradas Prolongadas (YC)	3	0.0%
Mantenimiento Prolongado	3	0.0%
Paradas Imprevistas (YB)	2863	13.0%
Fuera de especificación	699	3.2%
Instalaciones	675	3.1%
Falta de stock	368	1.7%
Atoro	128	0.6%
Faltante	111	0.5%
Producto fuera de especificación	99	0.5%
Pérdida de condiciones operativas	98	0.4%
Cold Test	72	0.3%
Otros	613	2.8%
Paradas Rutinarias (YA)	2027	9.2%
Calibración / Ajuste de equipo	698	3.2%
Limpieza de línea/equipo	644	2.9%
Cambio de producto	253	1.1%
Cambio de formato	206	0.9%
Arranque y parada	119	0.5%
Otros	106	0.5%
Falla de equipos (Y2)	775	3.5%
Tiempo operativo	15786	71.7%
Pérdida por rendimiento	862	3.9%
Tiempo operativo neto	14924	67.8%
Pérdida por calidad	2	0.0%
OEE	14923	67.8%

Nota. Esta información abarca un estudio del OEE de periodo de enero 2023 a mayo 2024.

Las principales categorías que poseen un impacto directo con mantenimiento se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Principales categorías que afectan la disponibilidad

Tipo de pérdida	Horas	Pérdida de OEE
Paradas programadas (YD)	528	2.40%
Calibración / Ajuste de equipo (YA)	698	3.20%
Fallas de equipo (Y2)	775	3.50%

Nota. El valor más alto corresponde a la falla por equipo (Y2).

3.1.2. Evaluación comparativa entre líneas de producción

Como parte del análisis técnico-operativo, se realizó un estudio comparativo entre las siete líneas de producción de aceite, abarcando el periodo de enero 2023 a mayo 2024, con el fin de identificar las líneas con mayor nivel de indisponibilidad y justificar la priorización de acciones correctivas. Este análisis fue motivado por el incremento sostenido del indicador de indisponibilidad en el año 2023, que alcanzó un promedio de 3.69%, superando el estándar internacional de referencia (2.00%). El mes más crítico fue agosto de 2023, cuando la planta registró una indisponibilidad del 6.30%, valor sin precedentes en los últimos cinco años.

Frente a este contexto, se analizó la data disponible en SAP HANA de paradas en las categorías:

- YD: Mantenimiento programado
- Y2: Fallas de equipo
- YA: Ajustes y regulaciones operativas

A continuación, se presenta la tabla resumen por línea obtenida en función a las horas de parada:

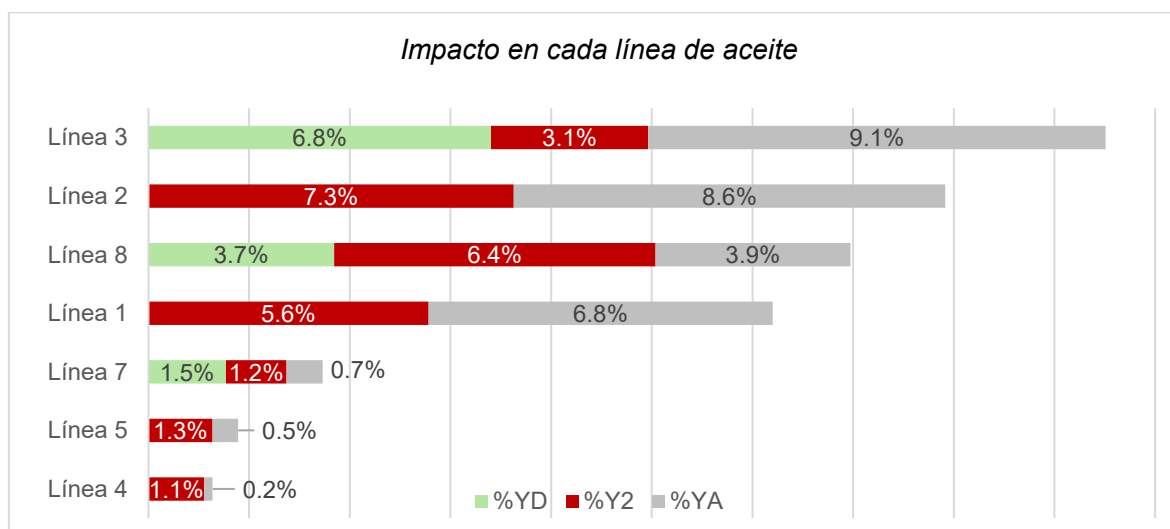
Tabla 4. Indisponibilidad por líneas (YD, Y2, YA)

Línea	TD (horas)	YD (horas)	Y2 (horas)	YA (horas)	%YD=YD/TD	%Y2=Y2/TD	%YA=YA/TD	%Total (YD+Y2 +YA)	Disponi- bilidad %
Línea 8	6999.9	258.3	446.8	271.3	3.7%	6.4%	3.9%	13.9%	86.1%
Línea 7	6262.6	96.5	75.3	44.9	1.5%	1.2%	0.7%	3.5%	96.5%
Línea 1	738.2	0.0	41.1	50.5	0.0%	5.6%	6.8%	12.4%	87.6%
Línea 3	2537.4	172.8	79.2	230.6	6.8%	3.1%	9.1%	19.0%	81.0%
Línea 2	980.7	0.0	71.2	84.1	0.0%	7.3%	8.6%	15.8%	84.2%
Línea 5	2789.3	0.0	35.5	14.2	0.0%	1.3%	0.5%	1.8%	98.2%
Línea 4	1703.1	0.0	18.9	2.8	0.0%	1.1%	0.2%	1.3%	98.7%

Nota. Elaboración propia con datos de SAP HANA – Paradas (YD: Mantenimiento programado, Y2: Fallas de equipo, YA: Ajustes y regulaciones operativas), ene 2023 – may 2024.

Gráficamente se representaría de la siguiente manera descendente:

Figura 5. Indisponibilidad de las líneas de aceite



Nota. Se evidencia que el top 3 de las líneas con mayor indisponibilidad es para la línea 3, línea 2 y línea 8.

Los resultados muestran que las líneas 3, 2 y 8 son las que presentan mayor porcentaje de pérdidas de disponibilidad. Sin embargo, como se desarrollará en el siguiente apartado (3.1.3), no todas las líneas tienen el mismo peso productivo ni económico, por lo

que se requiere un análisis conjunto del impacto técnico y financiero para determinar la línea crítica.

3.1.3. Impacto económico por línea: utilidad bruta vs. Indisponibilidad

El análisis de la indisponibilidad debe complementarse con una evaluación económica. Una línea con alto valor agregado y volumen productivo puede generar impactos financieros mucho mayores ante fallas técnicas, incluso si su tasa de parada no es la más alta en términos porcentuales.

Con este criterio, se evaluó la utilidad bruta generada por cada línea de producción durante el año 2023. La utilidad bruta se calculó a partir del precio promedio por tonelada de aceite producida y el total de toneladas procesadas en el año. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

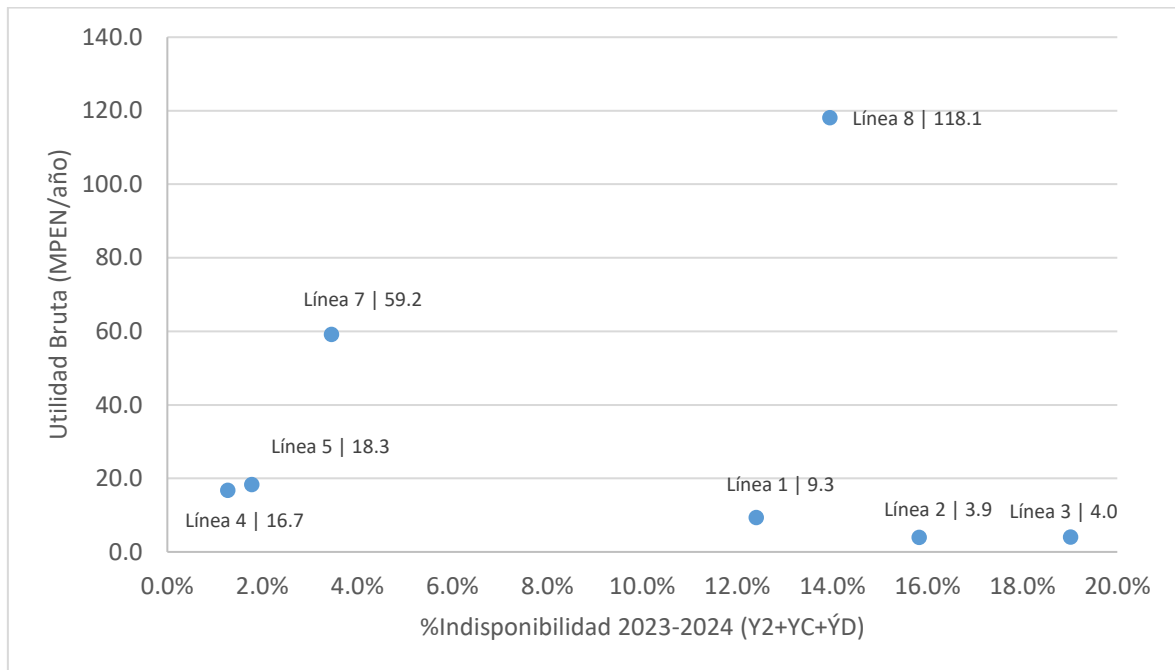
Tabla 5. Utilidad de bruta en millones de soles por año

Línea	UB/ton (PEN/ton)	Producción 2023 (ton/año)	UB/ton x Producción = UB/año (MPEN/año)
Línea 8	1713	68917	118.1
Línea 7	1326	44609	59.2
Línea 1	1713	5435	9.3
Línea 3	1713	2327	4.0
Línea 2	1713	2285	3.9
Línea 5	1326	13780	18.3
Línea 4	1326	12573	16.7

Nota. UB = Utilidad bruta; MPEN = Millones de soles; fuente: Elaboración propia a partir de datos productivos 2023.

Gráficamente se representaría de la siguiente manera:

Figura 6. Impacto de la indisponibilidad en el Negocio



Nota. Se evidencia que la línea con mayor impacto económico es para la línea 8.

A pesar de que otras líneas como la 3 y la 2 presentaron mayores porcentajes de indisponibilidad (19.0% y 15.8%, respectivamente), su impacto financiero es significativamente menor. Por ejemplo:

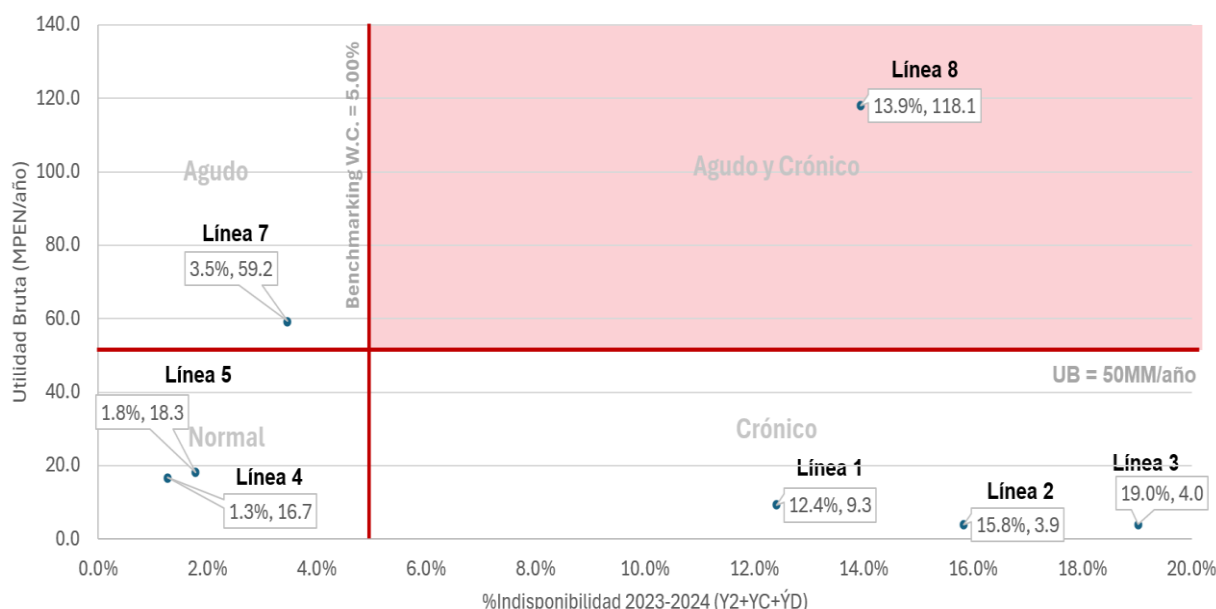
- La línea 3, con 19.0% de pérdidas, su utilidad es de 4.0 millones de soles en el año. En cambio, la línea 8, con 13.9% de pérdidas, su utilidad es de 118.1 millones de soles, lo que la convierte en la línea más rentable, pero también más vulnerable al impacto económico de la indisponibilidad.

Con el fin de visualizar de forma integral el impacto de la indisponibilidad con la rentabilidad de cada línea, se aplicó un análisis tipo Jack-Knife, el cual permite graficar y comparar el peso relativo de cada línea considerando dos dimensiones:

1. Porcentaje de indisponibilidad acumulada ($YD + Y2 + YA$)
2. Utilidad bruta anual generada (en millones de soles)

Este enfoque permite priorizar objetivamente qué líneas generan el mayor impacto económico ante eventos de mantenimiento o falla técnica.

Figura 7. Impacto de la indisponibilidad en el Negocio



Nota. El plano rojo sombreado identifica el cuadrante de alto riesgo operacional aquel que se encuentra en estado agudo y crónico, donde coinciden líneas con valores por encima del benchmark de indisponibilidad (5%) y utilidad bruta superior a los 50 millones de soles anuales. La línea 8 se posiciona como el punto más crítico del gráfico, con 13.9% de indisponibilidad y es la que genera una mayor utilidad bruta de 118.1 M PEN.

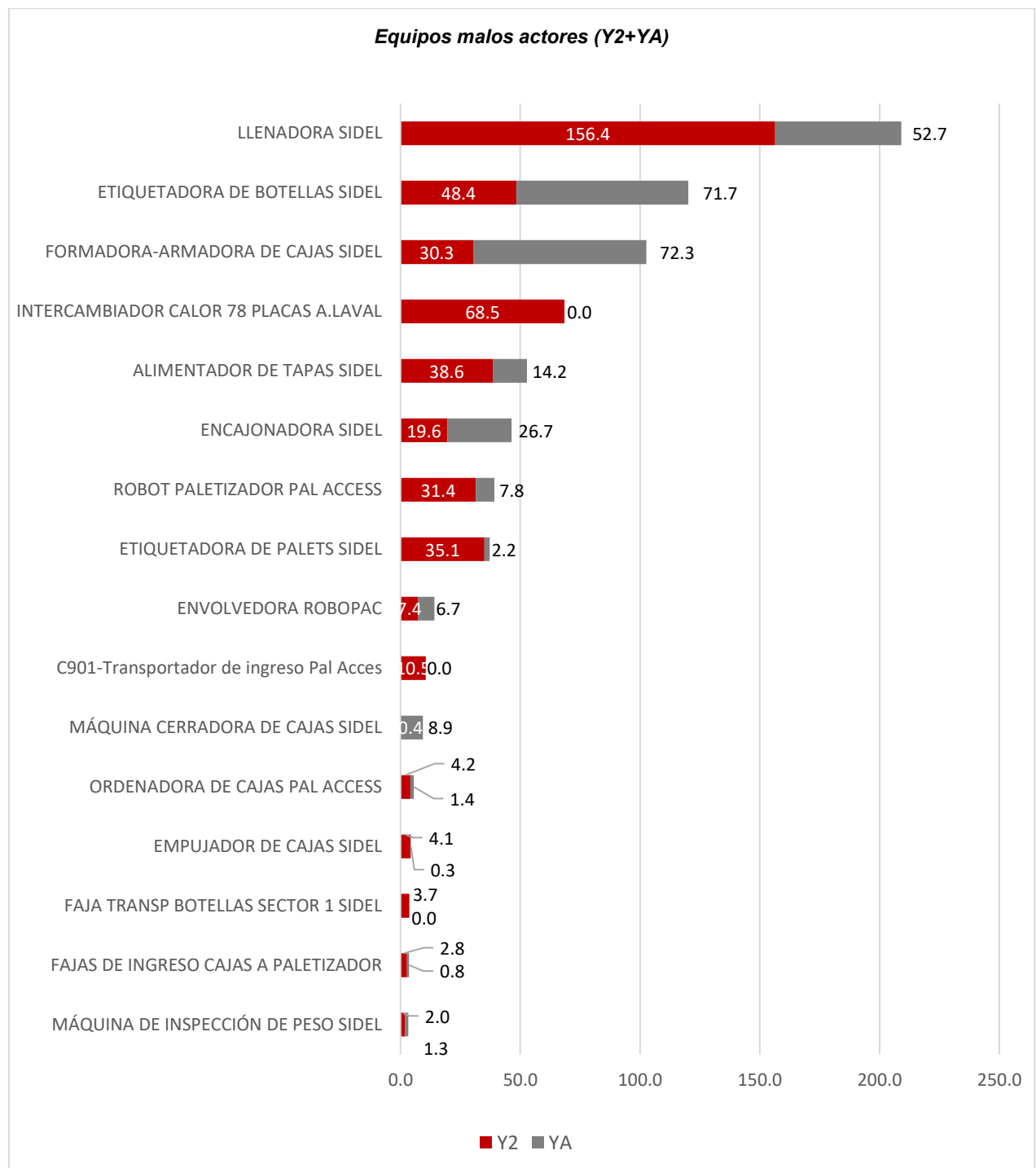
3.1.4. Identificación de la línea crítica y selección de equipo de mayor impacto

Como resultado del análisis técnico-económico desarrollado en los apartados anteriores, se concluyó que la línea 8 representa el mayor impacto operativo y financiero dentro de la planta de producción de aceites. Esta línea no solo supera ampliamente el umbral de indisponibilidad definido por el benchmarking global (13.9% vs. 2.0%), sino que también genera la mayor utilidad bruta anual, con más de 118 millones de soles en el año 2023.

Con el objetivo de priorizar acciones de mejora, se realizó un desglose detallado de los equipos de la línea 8, considerando los registros SAP HANA asociados a:

- Y2 – Fallas de equipo
- YA – Ajustes o regulaciones técnicas

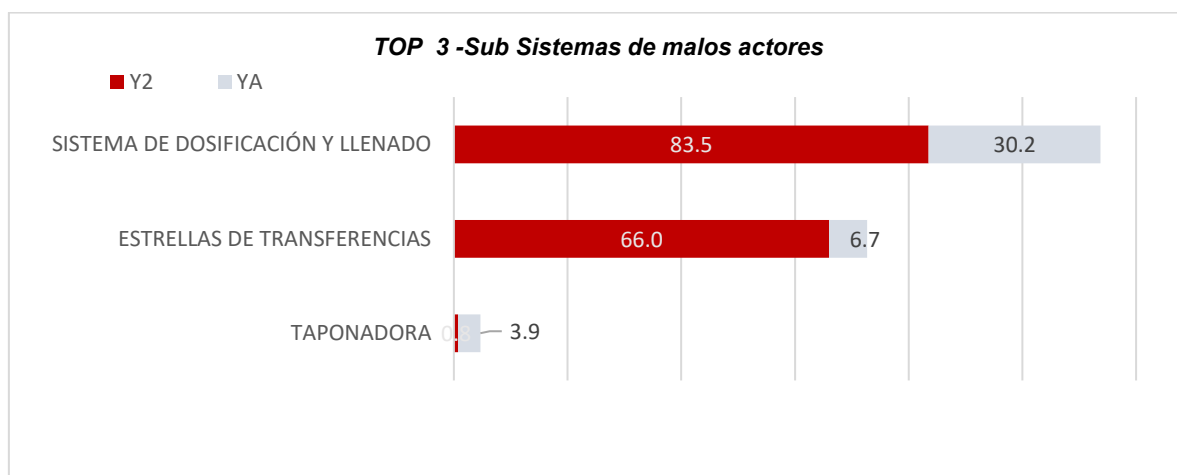
Figura 8. Equipos con mayor indisponibilidad (Y2) y regulaciones (YA) en horas para la Línea 8



Nota. En el gráfico se evidencia un alto impacto operativo del equipo llenadora de aceite Sidel, que acumuló 156.4 horas por fallas (Y2) y 52.7 horas por regulaciones (YA). Además, los seis primeros equipos concentran el 81% del total de horas de indisponibilidad de la línea 8.

Se procedió a realizar una descomposición funcional de la llenadora, determinando que el 80% de las fallas se concentran en los siguientes tres subsistemas:

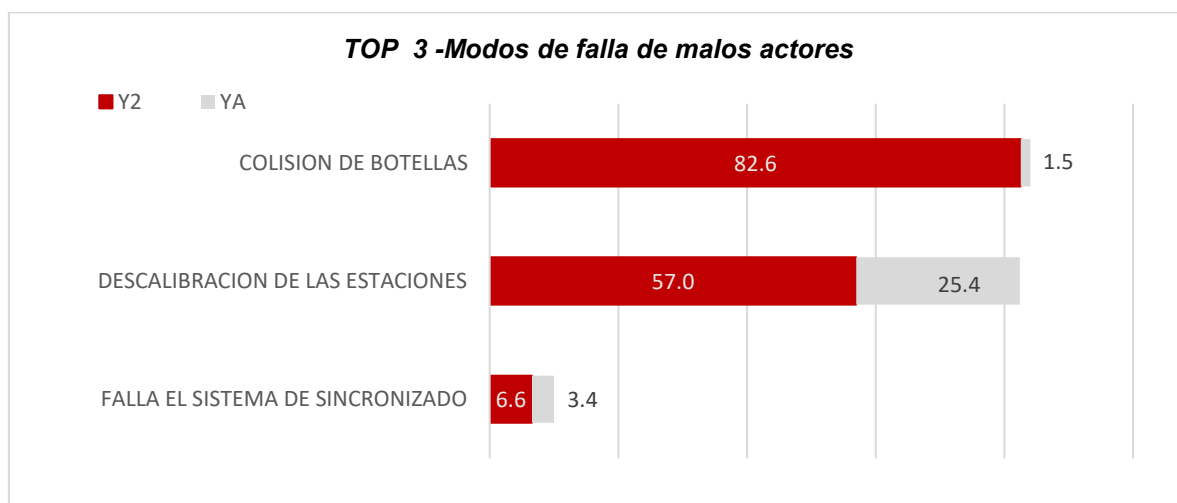
Figura 9. Top 3 de subsistemas con mayor incidencia de fallas y regulaciones en la llenadora en horas



Nota. Los tres subsistemas mostrados concentran el 80% del total de paradas técnicas de la llenadora, identificándolos como los principales malos actores.

Con base en esta clasificación, se realizó un análisis de los modos de falla más relevantes registrados históricamente para cada subsistema:

Figura 10. Modos de falla más relevantes en los principales subsistemas de la llenadora en horas



Nota. Estos modos de falla fueron identificados como los más críticos por su frecuencia, severidad del impacto y recurrencia operativa.

Estos hallazgos validan la necesidad de aplicar un enfoque técnico riguroso, iniciando con el Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) para priorizar acciones de mantenimiento, seguido por la implementación de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) enfocado en la mejora de la disponibilidad.

3.2. Diagnóstico técnico de la llenadora de aceite

La llenadora de aceite Sidel es un equipo de alta velocidad responsable del proceso de dosificación y taponado de botellas de 900 ml. Opera a un ritmo de 25,000 botellas por hora y cumple una función esencial dentro de la línea 8, siendo el nodo que une el sistema de envasado con el de cierre, y que más contribuye al OEE de la línea.

3.2.1. Descripción funcional del equipo

La llenadora Sidel de aceite es un equipo de tipo rotativo, diseñado para realizar las funciones de transferencia, dosificación y taponado de botellas PET de 900 ml. Su operación se desarrolla a una velocidad nominal de 25,000 botellas por hora, lo que la convierte en el componente con mayor exigencia mecánica y operativa de la línea.

El equipo está compuesto por tres secciones funcionales:

- Sistema de estrellas de transferencia, que recibe las botellas vacías y las alinea en el carrusel.
- Sistema de dosificación, que inyecta el aceite en cada botella utilizando 44 válvulas de llenado controladas automáticamente según la receta del producto.
- Sistema de taponado, que coloca y ajusta la tapa mediante un conjunto de cabezales rotativos con control de torque.

El comportamiento global de este sistema puede representarse mediante el siguiente enfoque IPO (Input–Process–Output), que permite identificar los flujos de entrada, procesos internos y salidas clave del equipo:

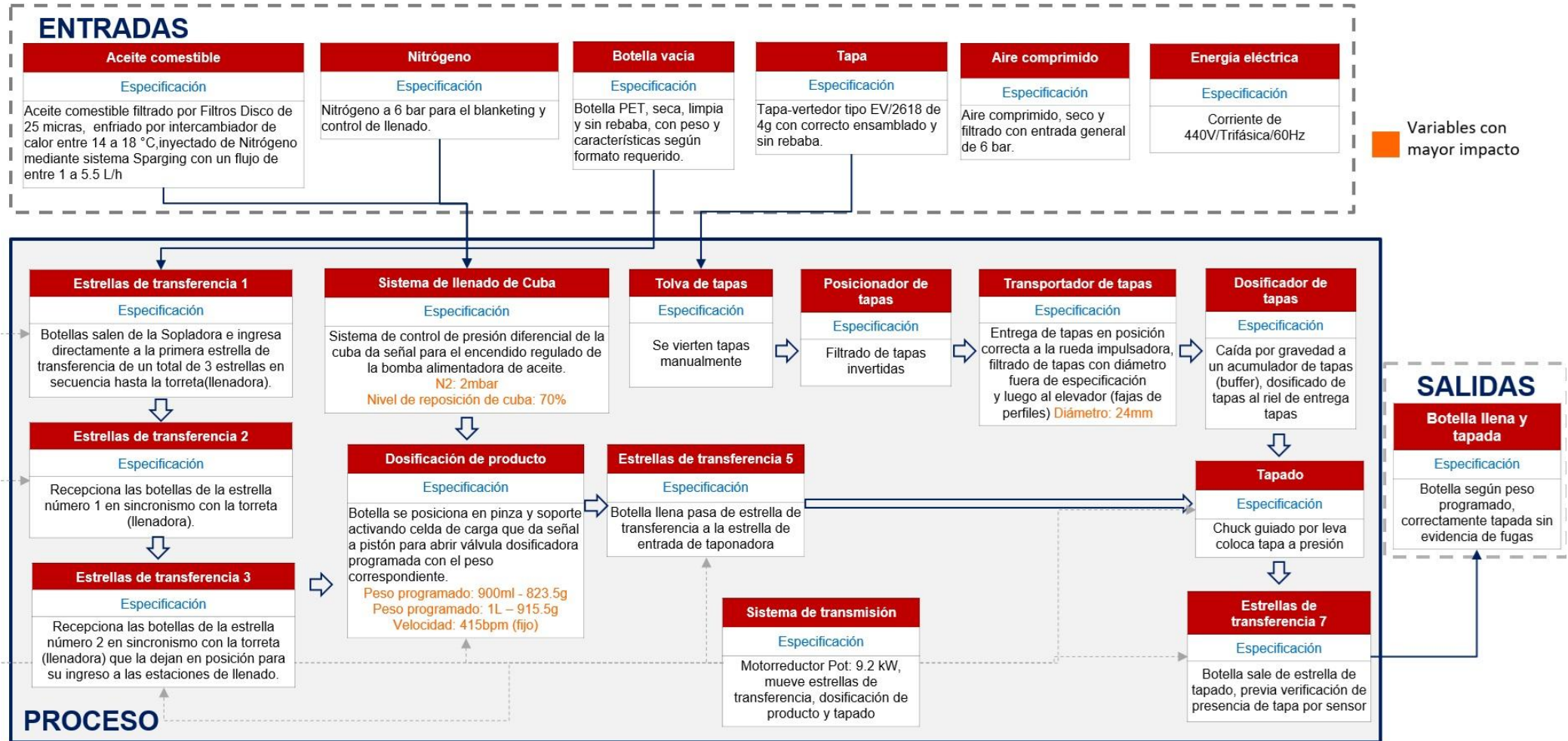
Diagrama IPO – Llenadora de Aceite

- **Entradas (Input):**
 - Botellas vacías (formato 900 ml)
 - Tapas plásticas
 - Aceite a granel (producto terminado)
 - Energía eléctrica, aire comprimido, parámetros de receta

- Señales desde el sistema de control central
- **Proceso (Process):**
 - Transferencia de botellas al carrusel
 - Dosificación volumétrica de aceite con válvulas servo-controladas
 - Paso al módulo de tapado
 - Colocación de tapa y torque de cierre controlado
 - Salida hacia la etiquetadora y encajonado
- **Salidas (Output):**
 - Botellas llenas, tapadas y listas para el empaque
 - Tasa de producción efectiva: 25,000 botellas/hora
 - Producto con volumen conforme, sin fugas, y con sello correcto

Este esquema permite comprender la complejidad funcional del equipo, así como la interdependencia de sus subsistemas, los cuales serán descompuestos y analizados individualmente en el apartado 3.3.

Figura 11. Diagrama Entrada-Proceso-Salida de la llenadora de aceite Sidel



Nota. Se evidencia en esta figura la funciones cuantitativas y cualitativas de cada proceso correspondiente a la llenadora de aceite.

3.2.2. Análisis histórico de OEE de la llenadora

Durante el periodo analizado (enero 2023 – mayo 2024), la llenadora de aceite de la línea 8 evidenció un comportamiento operativo inestable, reflejado en sus registros de indisponibilidad técnica. A partir de los datos obtenidos del sistema SAP HANA, se determinaron las siguientes pérdidas acumuladas:

- 156.4 horas por fallas de equipo (Y2)
- 52.7 horas por ajustes y regulaciones (YA)

Estas cifras representan una pérdida directa de 209.1 horas, lo que equivale a aproximadamente un 4.3% de pérdida de disponibilidad dentro del OEE total de la línea. Este valor es superior al 2.0% establecido como referencia en el benchmarking global de confiabilidad operativa, y refleja un desempeño por debajo de los estándares deseados.

Distribución de pérdidas dentro del equipo

El análisis detallado de las causas técnicas evidenció que la mayoría de las paradas de la llenadora se originan en:

- Fallas mecánicas en válvulas de llenado y actuadores del sistema de dosificación
- Desgaste o desalineación en los mecanismos de las estrellas de transferencia
- Problemas de torque en el sistema de tapado (fallas en cabezales o alimentación de tapas).

Estos eventos generaron no solo detenciones prolongadas, sino también efectos colaterales en la calidad del producto, como fugas, tapado incompleto o rechazo por presentación, lo que afecta tanto el rendimiento como la percepción del consumidor final.

Impacto sobre el OEE de la línea 8

En términos de impacto, la indisponibilidad de la llenadora condiciona directamente el rendimiento global de la línea, al ser el punto central de llenado y el nodo que regula el flujo entre las etapas de alimentación y post-llenado (etiquetado y empaque). Cuando la

llenadora se detiene, la línea completa entra en condición de espera o paro forzado, incrementando los desperdicios y reduciendo la eficiencia operativa.

3.2.3. Justificación para el análisis técnico profundo

El análisis histórico de fallas y desempeño técnico de la llenadora de aceite Sidel ha evidenciado una clara concentración de paradas no planificadas en un conjunto limitado de subsistemas clave. Los registros del sistema SAP HANA (enero 2023 – mayo 2024) muestran que más del 90% de las horas de indisponibilidad se explican por eventos recurrentes en el sistema de dosificación y llenado, estrellas de transferencia, taponadora y sistema de transmisión.

Esta situación revela una baja confiabilidad estructural del equipo, agravada por la limitada eficacia del plan de mantenimiento vigente, el cual presenta las siguientes debilidades:

- Enfoque reactivo, orientado a la atención de fallas una vez ocurridas
- Tareas preventivas generales, sin priorización basada en criticidad
- Ausencia de técnicas predictivas sistematizadas (vibraciones, termografía, análisis de torque)
- Falta de historial consolidado para anticipar modos de falla reincidentes
- Poca integración entre producción y mantenimiento para la toma de decisiones técnicas

Adicionalmente, la llenadora cumple una función estratégica dentro de la línea 8, actuando como cuello de botella para el flujo de producción. Cada parada genera efectos en cadena que impactan los indicadores globales de eficiencia (OEE), aumentando el riesgo de incumplimiento de metas de producción y comprometiendo la calidad del producto final.

Enfoque propuesto

Frente a este contexto, se plantea como eje de solución la aplicación de un análisis técnico estructurado bajo la metodología RCM (Reliability-Centered Maintenance), iniciando con una etapa de Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA).

Este enfoque permitirá:

- Identificar los modos de falla más críticos y su causa raíz
- Priorizar acciones correctivas, preventivas o predictivas según su impacto
- Rediseñar las rutinas de mantenimiento con base en confiabilidad
- Optimizar la gestión de recursos técnicos y humanos
- Elevar la disponibilidad del equipo y reducir la variabilidad operativa

En el siguiente apartado (3.3), se realizará una descomposición funcional de la llenadora por subsistemas, como paso previo al análisis FMEA, permitiendo entender las funciones esperadas de cada componente y las consecuencias asociadas a sus posibles fallos.

3.3. Descomposición funcional por subsistemas

Para aplicar de manera efectiva la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) de la llenadora de aceite modelo Hema Quatro Access, fue necesario realizar una descomposición funcional del equipo, identificando los subsistemas con mayor incidencia en los modos de falla reportados. La selección de los cuatro subsistemas principales:

- Estrellas de transferencia
- Sistema de dosificación y llenado
- Taponadora
- Sistema de transmisión

Se fundamenta en el análisis de datos históricos de indisponibilidad (Y2 y YA) y en los registros del sistema SAP HANA, los cuales demostraron que más del 80% de las fallas reportadas durante el periodo analizado se originaron en estos componentes. Esta

descomposición permite focalizar las estrategias de mantenimiento y priorizar acciones de mejora en los puntos más críticos del proceso productivo.

Estrellas de transferencia

Este subsistema se encarga del traspaso de botellas vacías desde el sistema de alimentación hacia la torreta de llenado, y desde allí hacia el módulo de taponado. Está compuesto por guías, levas, brazos mecánicos y discos rotativos. Su función es mantener la continuidad del flujo de botellas y garantizar su correcta posición y orientación.

Modos de falla frecuentes:

- Desalineación mecánica por desgaste de guías
- Atascos por deformación o rotura de envases
- Vibraciones excesivas por holgura en ejes de soporte

Impacto: Fallas en este subsistema pueden ocasionar la interrupción completa del proceso productivo, ya que impiden el ingreso o egreso adecuado de bote.

Sistema de dosificación y llenado

Es el subsistema más crítico, ya que interviene directamente en la calidad del producto final. Está compuesto por un tanque rotativo, válvulas de llenado, boquillas, sensores de caudal y presión, celdas de carga y actuadores de control electrónico. Opera mediante un sistema ponderal que asegura exactitud volumétrica a través de medición de peso.

Modos de falla frecuentes:

- Fugas por desgaste en empaques de válvulas
- Goteo constante por mala calibración o residuos en boquillas
- Descalibración de sensores de pesaje o presión

Impacto: Los fallos en este subsistema generan mermas, productos fuera de especificación y rechazos por calidad, afectando tanto la eficiencia como la percepción del consumidor.

Taponadora

Este módulo garantiza el cerrado correcto del envase. Está compuesto por un alimentador de tapas, cabezales de torque controlado, cilindros de elevación y sensores de presencia.

Funciona de manera sincronizada con el llenado para sellar inmediatamente después de la dosificación.

Modos de falla frecuentes:

- Fallas en sensores de tapa presente
- Desgaste de los cabezales aplicadores
- Torque fuera de rango por pérdida de calibración

Impacto: Una falla en la taponadora genera botellas abiertas o mal selladas, aumentando el rechazo de unidades terminadas e interrumpiendo el flujo aguas abajo.

Sistema de transmisión

Es el conjunto encargado de asegurar el movimiento sincronizado de todos los subsistemas anteriores. Incluye motores, ejes, poleas, engranajes, bandas, acoplamientos y convertidores de frecuencia. Cualquier falla en este subsistema repercute en toda la maquinaria.

Modos de falla frecuentes:

- Vibraciones por desalineación de ejes o rodamientos defectuosos
- Calentamiento por sobrecarga o fricción excesiva
- Ruido por desgaste en engranajes o falta de lubricación

Impacto: Interrupción total de la línea y daños colaterales en subsistemas conectados. Representa una fuente crítica de pérdida de disponibilidad.

3.4. Aplicación del análisis FMEA

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) fue aplicado a los cuatro subsistemas principales identificados en la descomposición funcional de la llenadora de aceite. Este análisis permitió identificar los modos de falla más relevantes, sus efectos sobre la operación, las causas probables y la priorización de riesgos mediante el cálculo del RPN (Risk Priority Number).

El análisis se realizó utilizando como base los registros de fallas históricas extraídos del sistema SAP HANA, avisos tipo Y2 (fallas de equipo) y YA (regulaciones operativas),

así como la experiencia del personal técnico de mantenimiento. Se establecieron tres criterios para el cálculo del RPN:

- Severidad (S): impacto del fallo en el proceso o seguridad
- Ocurrencia (O): frecuencia o probabilidad de que ocurra
- Detección (D): capacidad de detectar el fallo antes de que cause impacto

A continuación, se presenta un resumen del FMEA aplicado a los subsistemas críticos:

Sistema de dosificación y llenado

- Fuga en válvula dosificadora sobre peso.(S=8, O=6, D=4, RPN=192): Reemplazo periódico de sellos y electroválvulas, cambio a las 12000 horas.
- Goteo en boquillas (S=7, O=5, D=5, RPN=175): Limpieza diaria y verificación visual
- Descalibración del sensor de presión (S=9, O=4, D=4, RPN=144): Calibración mensual

Estrellas de transferencia

- Mala posición de la botella,, (S=5, O=4, D=5, RPN=100): Revisión diaria de botellas y guías para la sincronización entre sopladora y llenadora.
- Atascos por deformación de botellas (S=9, O=5, D=3, RPN=135): Revisión diaria de botellas y guías para la sincronización entre sopladora y llenadora.
- Desgaste de guías mecánicas (S=6, O=6, D=4, RPN=144): Engrase preventivo y reemplazo anual así como reemplazo de pinzas rotas o faltantes en la torreta.
- **Taponadora**
 - Torque fuera de especificación (S=8, O=5, D=5, RPN=200): Calibración y mantenimiento de cabezales
 - Tapas volteadas (S=7, O=4, D=5, RPN=140): Inspeccion del correcto funcionamiento de la guía de tapas así como de la inclinación del elevador de tapas.
- **Sistema de transmisión**
 - Ruido excesivo por engranajes (S=6, O=5, D=4, RPN=120): Análisis vibracional trimestral.

- Desalineación de ejes (S=7, O=5, D=3, RPN=105): Alineación cada 6,000 horas de operación.

Este análisis permitió priorizar los fallos con mayor riesgo operacional para enfocar los esfuerzos de mantenimiento preventivo, predictivo y de rediseño. Los resultados del FMEA fueron esenciales para la formulación de la propuesta técnica RCM presentada en el siguiente apartado.

3.5. Propuesta técnica de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

Con base en los resultados del análisis FMEA, se desarrolló una propuesta técnica bajo la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) orientada a reducir la incidencia de fallas, mejorar la disponibilidad del equipo y optimizar el uso de recursos técnicos y humanos.

Estrategia general del mantenimiento propuesto

La estrategia considera un enfoque mixto que combina mantenimiento preventivo, predictivo y acciones de rediseño, de acuerdo con el nivel de criticidad y el RPN asociado a cada modo de falla. Las tareas se clasificaron según su frecuencia y prioridad, y fueron distribuidas por subsistema para facilitar su implementación.

Plan de mantenimiento por subsistema

Sistema de dosificación y llenado:

- Reemplazo de empaques de válvulas dosificadoras cada 3 meses.
- Calibración mensual de sensores de caudal y presión.
- Limpieza diaria de boquillas con verificación visual.
- Implementación de alarmas para desvíos de peso.

Estrellas de transferencia:

- Revisión diaria de botellas y guías mecánicas.
- Lubricación quincenal de mecanismos de transferencia.
- Reemplazo anual de componentes con desgaste recurrente.

Taponadora:

- Validación diaria de sensores de presencia de tapa.
- Mantenimiento mensual de cabezales de torque.
- Implementación de un sistema de rechazo de tapas volteadas.

Sistema de transmisión:

- Análisis de vibraciones trimestral para detección temprana de fallas.
- Revisión de alineación de poleas y bandas de forma trimestral.
- Cambio de lubricantes cada 3 meses o 1,500 horas de operación.

Integración con el sistema SAP PM

Todas las tareas definidas fueron estructuradas como rutas de mantenimiento en SAP PM. Se utilizaron listas de tareas (task lists) por subsistema, con codificación estándar, asignación de responsables y estimación de tiempos de ejecución. Se habilitaron avisos automáticos basados en condición para tareas predictivas (p. ej., alarmas de torque, desvío de peso, vibraciones).

Indicadores clave de seguimiento

La efectividad del plan será evaluada con los siguientes indicadores:

- Reducción del RPN medio en fallos críticos.
- Reducción acumulada del tiempo de indisponibilidad (Y2 + YA).
- Mejora del OEE con una meta mínima de 0.7%.

Esta propuesta busca establecer un sistema de mantenimiento más eficiente, predecible y alineado con las mejores prácticas de confiabilidad industrial, sirviendo además como modelo para su réplica en otros equipos clave de la planta.

3.6. Evaluación del impacto esperado

Una vez implementada la propuesta técnica basada en la metodología RCM, se realizó una proyección del impacto esperado sobre los principales indicadores de desempeño, tomando como referencia los registros históricos de la llenadora y las mejoras planificadas en los planes de mantenimiento.

Mejora proyectada del OEE

La aplicación del RCM permitió atacar directamente los modos de falla que más afectaban la disponibilidad y el rendimiento del equipo. Se estimó una mejora del **OEE de 0.33%** al cierre del año 2024, resultado del aumento en la disponibilidad operativa gracias a la reducción de paradas no programadas. Este valor fue validado mediante la comparación de datos del sistema SAP HANA antes y después de la intervención.

Reducción de la indisponibilidad

Uno de los logros más significativos fue la reducción de la indisponibilidad de la llenadora de aceite en un **1.08% al cierre del 2024**, lo cual representa un incremento del tiempo útil de producción. Esta mejora impacta directamente en la eficiencia de la línea, disminuyendo la acumulación de paros por fallas recurrentes, y reduciendo los costos de intervención correctiva.

Optimización del uso de recursos técnicos

La priorización de tareas mediante el FMEA y la implementación de rutas preventivas y predictivas en SAP permitió una mejor planificación del mantenimiento, con una **optimización del uso de recursos humanos y materiales**. Las tareas se agruparon por criticidad y frecuencia, reduciendo desplazamientos innecesarios, duplicidad de esfuerzos y acumulación de tareas correctivas.

Sostenibilidad y mejora continua

El enfoque del RCM generó un cambio en la cultura organizacional al fomentar la participación del personal operativo en la detección de fallos incipientes. La proactividad técnica, combinada con la capacitación en herramientas de diagnóstico, mejoró la toma de decisiones y consolidó una estructura orientada a la confiabilidad operativa.

Estas mejoras están alineadas con los objetivos estratégicos de la planta, los cuales apuntan a una mayor eficiencia, reducción de costos operativos y aumento de la rentabilidad a través de una producción más estable y predecible.

Capítulo IV. Resultados ,Contrastacion de Hipotesis

4.1. Resultados de la implementación del RCM

Tras la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la llenadora de aceite modelo Hema Quatro Access, se obtuvieron resultados cuantificables que demuestran una mejora operativa en los indicadores clave del proceso productivo. El análisis de los resultados se realizó comparando el rendimiento histórico de todo el año 2023 con los datos obtenidos durante todo el periodo 2024 durante el desarrollo y aplicación de la estrategia RCM así como también posterior al desarrollo de la estrategia RCM que comprende el periodo del 2025, teniendo por fecha final del análisis de los datos el 30 de junio.

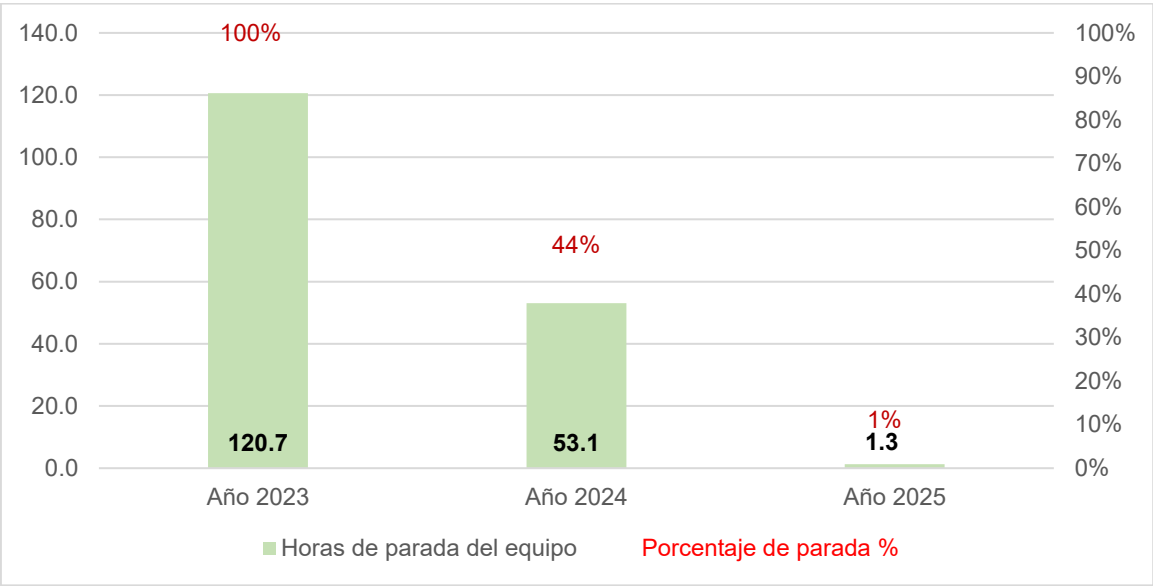
Mejora del OEE

La eficiencia global de los equipos (OEE) se **incrementó en 0.7%, pasando de 67.8% en 2023 a 68.5% en el primer semestre del 2025**. Esta mejora refleja una reducción en las pérdidas por indisponibilidad, baja velocidad de operación y calidad, resultado directo de la priorización de modos de falla críticos y la aplicación de tareas preventivas y predictivas más efectivas.

Reducción de la indisponibilidad (Y2)

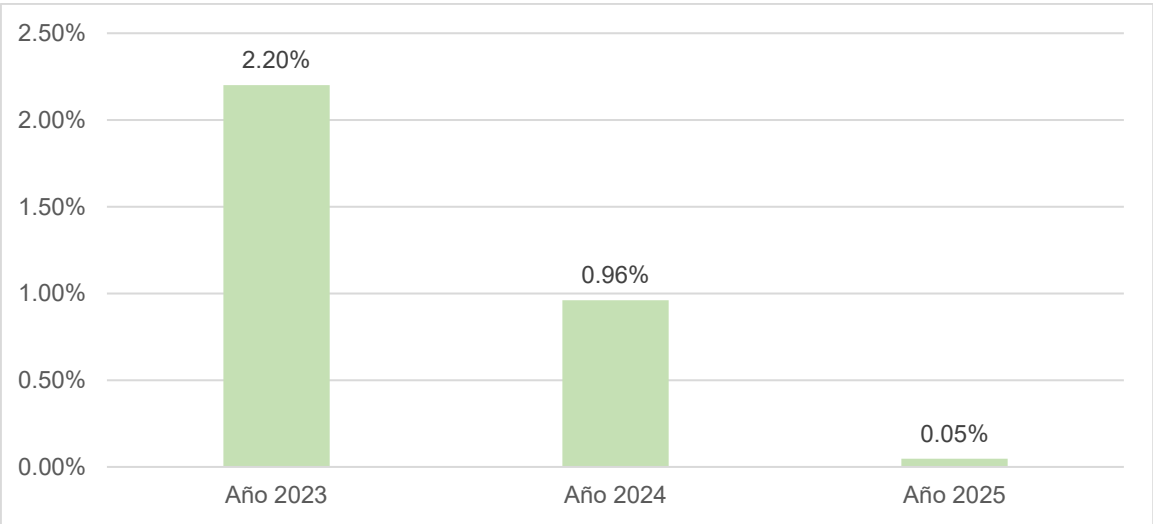
Durante el año 2023 y parte del 2024, la llenadora de aceite presentó más 120.7 horas de parada por fallas (Y2). Tras la implementación del RCM, dichas cifras se redujeron drásticamente siendo para hasta el 20 de junio del 2025 1.3 horas (Y2), logrando una disminución de la indisponibilidad del **equipo de 2.2 % a 0.05%, lo que se traduce a la mejora de disponibilidad de la línea de pasar 86.1% a 88.2%**.

Figura 12. Horas del Parada de la Llenadora SIDEL por falla de equipo



Nota. La figura muestra notablemente la baja de cantidad de horas de falla a partir del 2024 logrando un buen performance para el 2025 para el equipo en estudio, reduciendo casi a cero las horas de parada por falla de equipo que en porcentaje para el 2025 la reducción fue de un 99%.

Figura 13. Evolución de la indisponibilidad de la llenadora SIDEL por falla de equipo



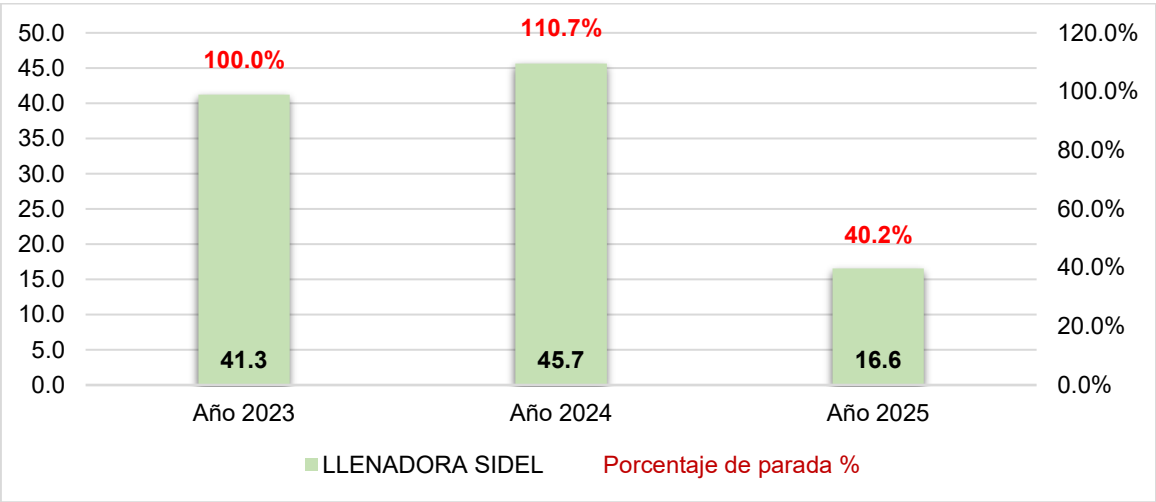
Nota. Se redujo del año 2023 al 2024 en un 55% la indisponibilidad del equipo y para el 2025 se lleva un 97.6% reduciendo casi a cero la indisponibilidad de la llenadora, esto tomando como punto de partida los valores del periodo 2023.

Reducción de la indisponibilidad (YA)

Durante el año 2023 y parte del 2024, la llenadora de aceite presentó más 41.3 horas de parada regulación de equipo (YA). Tras la implementación del RCM, dichas cifras se

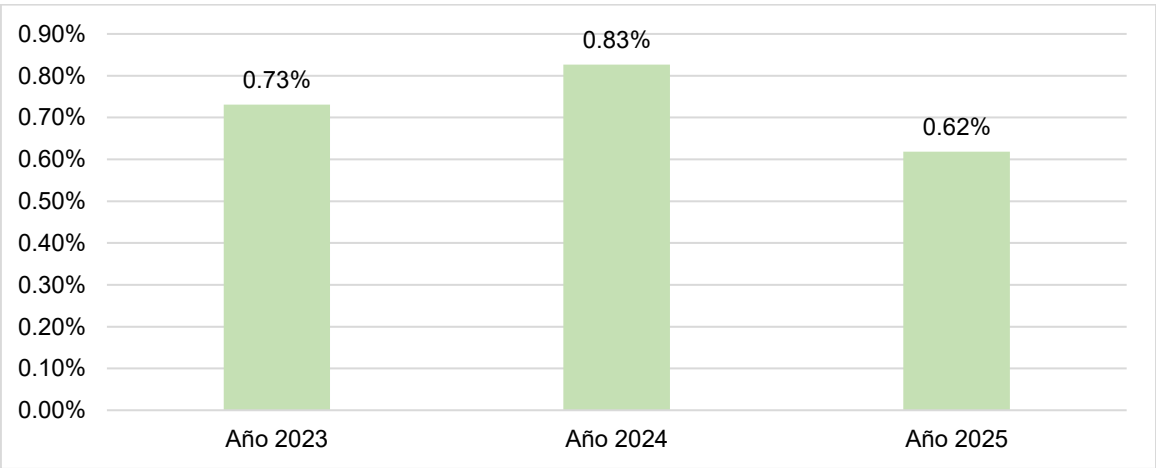
redujeron siendo para hasta el 20 de junio del 2025 16.6 horas (YB), logrando una disminución de la indisponibilidad del **equipo de 0.73% a 0.62%**, esto se traduce a la **mejora de la disponibilidad de 86.1% a sumar en 0.11%(YB) más los 2.15% (Y2)** obteniendo como disponibilidad **88.36%**.

Figura 14. Horas del Parada de la Llenadora SIDEL por regulación de equipo



Nota. La figura muestra la cantidad de horas por regulaciones del equipo, notando un ligero incremento en el 20254 pero a partir del 2025 hay una caída considerable, disminuyendo en un 59.8% la cantidad de horas por regulaciones.

Figura 15. Evolución de la indisponibilidad de la llenadora SIDEL por regulación de equipo



Nota. Se redujo del año 2023 al 2025 en un 15.1% la indisponibilidad del equipo incrementándose ligeramente para el 2024 en un 13.6%.

Optimización del uso de recursos

La reestructuración de las tareas de mantenimiento en SAP PM permitió una mejor asignación de técnicos, materiales y tiempos de ejecución. Las tareas críticas se agruparon de forma más lógica y se redujeron desplazamientos innecesarios y paradas repetitivas, lo que aumentó la eficiencia del mantenimiento programado.

4.2. Contrastación de la Hipótesis

Hipótesis nula (H_0):

La propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) no mejora la disponibilidad de una llenadora de aceite del rubro de alimentos de consumo masivo.

Hipótesis alternativa (H_1):

La propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) mejora la disponibilidad de una llenadora de aceite del rubro de alimentos de consumo masivo.

Decisión:

Dado que La implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la llenadora de aceite permitirá mejorar la eficiencia global de los equipos (OEE) en al menos un 0.7% y mejorar la Disponibilidad en 2.14 % mediante la identificación de fallas críticas y la aplicación de estrategias de mantenimiento adecuadas se rechaza la hipótesis Nula y se acepta la hipótesis de investigación.

4.3 Discusión de resultados

La implementación de la metodología RCM en la llenadora de aceite permitió identificar y priorizar las funciones críticas del equipo, los modos de falla más frecuentes, así como sus efectos sobre la operación y la disponibilidad general del sistema. A partir del análisis funcional y de criticidad, se rediseñaron las estrategias de mantenimiento, pasando de un enfoque predominantemente correctivo a uno preventivo-condicional, basado en datos reales de operación.

Uno de los resultados más relevantes fue el incremento del 2.26 % en la disponibilidad operativa del equipo. Este resultado refleja una mejora significativa considerando el alto nivel de automatización y la exigencia continua de producción en la industria de alimentos de consumo masivo, donde cualquier detención no programada representa una pérdida directa en unidades producidas y una potencial afectación a la cadena de abastecimiento.

En comparación con estudios similares aplicados en líneas de envasado en otras industrias alimentarias, donde los incrementos de disponibilidad con RCM oscilan entre 1,5% y 2%, los resultados obtenidos son coherentes y validan la efectividad del enfoque.

Según Ramos y Castro (2020), en una planta de producción de bebidas carbonadas aplicando el RCM logro que su disponibilidad aumente en 1.3 %, según Villanueva y Lopez aplicando RCM a una planta de lácteos lograron mejorar la disponibilidad en 1.6 % en ambos casos hay una similitud. Cabe destacar que, además del aumento de disponibilidad, se evidenció una disminución del 25 % en los costos asociados a mantenimiento correctivo, lo cual refuerza el impacto positivo integral de la metodología.

Sin embargo, se identifican oportunidades de mejora como la necesidad de fortalecer el monitoreo online de análisis de vibraciones, una técnica de mantenimiento predictivo para anticipar a la falla del equipo, así como mejora la mejora en el sistema de tapas, el cual es impedir que pase tapas volteadas esto con la finalidad de mejorar en los indicadores confiabilidad como MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) y MTTR (Tiempo Medio de Reparación) para una evaluación más precisa del desempeño

Conclusiones

- Mejora del OEE mediante la implementación de RCM. La aplicación de la metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) demostró ser eficaz en la mejora del OEE de la llenadora de aceite, al identificar y abordar las causas raíz de las fallas recurrentes el cual permitió incrementar la eficiencia operativa, logrando una mejora del OEE superior al 0.7% durante el periodo de estudio, que se traduce en la mejora de la disponibilidad de la línea en 2.26% pasando de 86.1% a 88.36% esto representa un ahorro de 3.1 MM PEN.
- Reducción de la indisponibilidad y las paradas imprevistas lográndose reducir la indisponibilidad de la llenadora de aceite en un 1.08% al cierre del 2024 y para toda la línea a junio del 2025 se redujo en un 2.15%. Esta mejora contribuyó a aumentar el tiempo de producción efectivo, reduciendo significativamente los costos asociados a las paradas no programadas por falla de equipo.
- Asignación más eficiente de recursos de mantenimiento. La metodología RCM permitió una asignación más racional de los recursos de mantenimiento, priorizando intervenciones de acuerdo con el impacto potencial en la operación. Esto no solo optimizó los recursos humanos y materiales del área de mantenimiento, sino que también mejoró la planificación y ejecución de las intervenciones teniendo un alto impacto en la mejora de los planes de mantenimiento, así como en las rutas de mantenimiento predictivo.
- Mejora continua y cultura organizacional. La implementación de RCM no solo trajo mejoras en la confiabilidad de los equipos, sino que también contribuyó a fomentar una cultura de mejora continua en la planta. La identificación de problemas recurrentes y la proactividad para abordarlos generaron un cambio de enfoque en los procesos de mantenimiento, promoviendo una mayor colaboración entre los

departamentos involucrados y un enfoque más estructurado hacia la mejora de la eficiencia operativa.

- Aumento de la vida útil de los equipos y reducción de costos. Al mejorar la confiabilidad y optimizar las estrategias de mantenimiento, se prolongó la vida útil de la llenadora de aceite, lo que permitió reducir los costos asociados a reparaciones mayores y a las pérdidas económicas generadas por fallas inesperadas. Esta reducción de costos contribuyó a una mayor rentabilidad de la planta y a un mejor aprovechamiento de los recursos existentes.
- Impacto positivo en los objetivos estratégicos de la planta. La mejora en el OEE y la reducción de la indisponibilidad se tradujeron directamente en un incremento de la productividad de la planta, lo que permitió a la empresa alcanzar sus objetivos estratégicos de eficiencia operativa, reducción de costos y mejor cumplimiento de la demanda del mercado.

Recomendaciones

- Ampliación de la implementación de RCM para maximizar los beneficios de la metodología, se recomienda extender su aplicación a otros equipos críticos de la línea, con el fin de generar mejoras en la confiabilidad.
- Monitoreo continuo del OEE. Es importante mantener un monitoreo constante del OEE a través de herramientas tecnológicas que permitan detectar variaciones en la eficiencia de los equipos en tiempo real. Esto garantizará una intervención rápida ante posibles fallas y mejorará la capacidad de reacción ante situaciones imprevistas.
- Capacitación continua del personal de mantenimiento. La capacitación continua del personal en las metodologías de mantenimiento predictivo y RCM será clave para asegurar la sostenibilidad de los logros obtenidos y seguir mejorando la confiabilidad de los equipos a largo plazo.

Referencias

- Cruz, M., & Mendoza, L. (2022). Aplicación del FMEA para mejorar la confiabilidad en líneas de envasado de alimentos. **Revista de Ingeniería Industrial Aplicada**, 18(1), 45–53.
- Espinosa, L., & Zurita, P. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos en industria de conservas de atún. **Científica**, 25(2), 1–24.
- Gonzales, D. (2021). Optimización del mantenimiento preventivo en llenadoras rotativas mediante análisis OEE y SAP-PM. [Tesis de licenciatura Universidad Nacional de Ingeniería].
- Quispe, R., & Huamán, J. (2024). Análisis del OEE y propuesta de mantenimiento predictivo en una planta embotelladora. **Revista de Producción y Tecnología**, 25(2), 33–41.
- Ramos, E., & Castro, J. (2020). Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad en una línea de bebidas. **Ingeniería y Gestión**, 22(3), 88–97.
- Villanueva, S., & López, F. (2023). RCM aplicado a equipos críticos en la industria láctea usando SAP y FMEA. **Revista de Tecnología Aplicada**, 29(4), 101–110.
- Society for Maintenance & Reliability Professionals (SMRP). (2023). **Best Practices in Reliability Metrics: Availability, OEE and MTBF**. SMRP Standards Publication.
- SAE International. (2022). **SAE J1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Including Design FMEA and Process FMEA**. Society of Automotive Engineers.